В. Н. КАРАЛИС

ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ



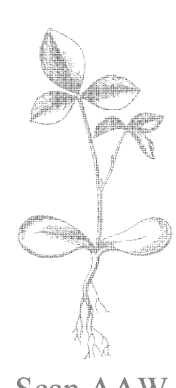
Массовая радиобиблиотека

Выпуск 609

В. Н. КАРАЛИС

ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ





ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1966 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.317.39 : 621.38
К 21

В брошюре описаны электронные схемы приборов, применяемых в различных отраслях промышленности для электрических измерений неэлектрических величин. Приведены схемы и описания функциональных блоков электронной аппаратуры.

Брошюра рассчитана на широкий круг лиц, имеющих дело с измерением и контролем различных физических величин.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Берг А. И., Бурдейный Ф. И., Бурлянд В. А., Геништа Е. Н. Жеребцов И. П., Канаева А. М., Корольков В. Г., Кренкель Э. Т. Куликовский А. А., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Шамшур В. И

3-4-5

Св.р/э 180-65

ПРЕДИСЛОВИЕ

Для двух последних десятилетий характерны быстрое развитие радиоэлектроники и усиленное внедрение ее в промышленность. Электронные приборы с каждым днем все шире применяются для физико-химического анализа, автоматизации и контроля производства, научных исследований и измерений. Трудно назвать сейчас отрасль промышленности или область науки, в которой не применялась бы или не могла быть применена электроника.

Массовое распространение получили приборы для измерения лучистой энергии в ее различных проявлениях, в частности для регистрации ядерных излучений, для фотометрии, для люминесцентного анализа и для счета световых вспышек. В брошюре рассмотрено несколько простых и надежных схем для измерения лучистой энергии.

Измерение магнитных полей в диапазоне от тысячных долей эрстеда до десятков эрстед применяется при магнитной дефектоскопии, магнитной разведке, физико-химическом анализе, обнаружении металлов и во многих других областях науки и техники. В брошюре приведены схемы приборов для магнитных измерений при помощи датчиков различных типов.

Многие приборы нуждаются в усилении маломощных электрических сигналов. В брошюре приведены основанные на транзисторах практические схемы избирательных и импульсных усилителей и усилителей постоянного тока. Выбор того или иного усилителя для конкретного прибора, зависящий от свойств примененного в этом приборе датчика сигналов и от физической величины, воздействующей на датчик, нередко вызывает затруднения. Приведенные схемы помогут читателю с наименьшей затратой сил и времени найти наилучшее решение этой задачи.

Многие из описанных в брошюре схем, созданных как зарубежными, так и советскими авторами, были опробованы, а в случае необходимости еще и дополнены, исправлены или переделаны в Общественном конструкторском бюро при Ленинградском правлении научно-технического общества радиотехники и электросвязи им. А. С. Попова.

Ввиду небольшого объема брошюры в нее не включены инструкции по настройке. Однако и приведенных данных вполне достаточно, на наш взгляд, для того, чтобы подготовленный радиолюбитель, а тем более инженер или техник смог воплотить принципиальную схему в прибор или в устройство.

В настоящей брошюре описана лишь небольшая часть возможных применений электроники в промышленности. Авторы надеются, что выход в свет этой брошюры, а вслед за ней, возможно, и новых сборников, содержащих описание других практических электронных схем, поможет усовершенствованию исследований и измерений, проводимых в народном хозяйстве.

Отзывы и замечания на брошюру просьба направлять по адресу: Ленинград, Д-41, Марсово поле, д. 1, Ленинградское отделение издательства «Энергия».

Автор

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ

В этой главе рассмотрены схемы приборов для измерения слабых световых потоков, для регистрации α-, β- и γ-излучений и для счета световых вспышек. Эти приборы, созданные с учетом последних достижений электронной техники, обладают высокими качественными показателями, просты по своему схемному построению и воспроизводимы даже в радиолюбительских условиях. Как известно, качество прибора во многом зависит от его конструкции. И хотя существующие конструкции не могут считаться вполне совершенными, тем не менее знать их необходимо. Поэтому описания приборов будут сопровождаться кратким изложением некоторых конструктивных данных.

Приборы для люминесцентного анализа

Люминесценция — вид излучения, широко распространенный в природе. Очень многие газообразные, жидкие и твердые вещества (соли редкоземельных элементов, ароматические соединения, растворы ряда красителей и др.), будучи подвергнуты воздействию ультрафиолетовых лучей, начинают светиться.

Люминесцентный анализ широко применяется в самых различных областях науки и техники, а в количественном и качественном анализах, служащих целям органической и неорганической химии, он по праву занял ведущее место и в ряде случаев не может быть заменен другими методами.

Люминесцентный анализ обладает рядом особенностей,

весьма выгодно отличающих его от других видов анализа. Так, с его помощью в 1 *г* пробы можно обнаружить присутствие $1 \cdot 10^{-10}$—$1 \cdot 10^{-11}$ *г* вещества примеси. Это более чем на четыре порядка превосходит чувствительность эмиссионного спектрального анализа. Люминесцентный анализ позволяет исследовать очень небольшие объемы раствора и мельчайшие крупинки порошков, содержащие лишь следы люминесцирующего вещества. Важное преимущество люминесцентного анализа заключается в его простоте, а также в том, что по своей скорости он во много раз превосходит химический анализ. Наконец, следует упомянуть, что если при химическом и эмиссионном спектральном анализах анализируемые вещества разлагаются, то при люминесцентном анализе они, как правило, не подвергаются изменениям и остаются пригодными для дальнейшего использования. Это особенно важно при исследовании трудно синтезируемых уникальных веществ, получаемых в ничтожных количествах.

Наиболее распространен и хорошо разработан люминесцентный анализ, основанный на возбуждении фотолюминесценции. Требованиям этого анализа отвечают ф л у о р и м е т р ы, измеряющие интенсивность свечения анализируемых объектов.

Флуориметр состоит из источника излучения, служащего для возбуждения фотолюминесценции, фотоэлемента, преобразующего свет люминесценции в ток, и регистратора. Конструкция прибора обычно содержит также оптическую часть, состоящую из конденсоров и диафрагм [Л. 1].

Описанный ниже универсальный флуориметр предназначен для количественного и качественного люминесцентного анализа жидкостей и твердых тел. Конструктивной особенностью прибора является то, что при пользовании кюветой можно работать только в проходящем свете; при этом измеряют как флуоресценцию растворов, так и их абсорбцию. Схематично это пояснено рис. 1.

Свет от источника *1* проходит через первичный светофильтр *2*. В кювету *3* с раствором попадает только монохроматическое излучение (обычно ультрафиолетовое), выделенное этим светофильтром и вызывающее люминесценцию раствора. Длина волны люминесценции длиннее возбуждающего излучения, а поскольку интерес представляет лишь возбужденное излучение, то вторичный светофильтр *4* должен быть выбран таким, чтобы он полностью закрывал

доступ на приемник света первичному излучению. Иными словами, в данном случае применена система скрещенных светофильтров. Фототок, возникающий в фотоэлементе *5*

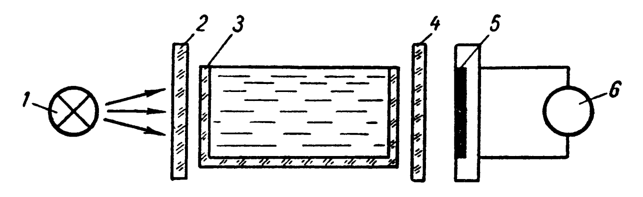


Рис. 1. Измерение люминесценции растворов в проходящем свете.

под действием вторичного излучения (флуоресценции), регистрируется гальванометром *6*.

При измерении абсорбции и пропускания вторичный светофильтр ставят редко, а если и ставят, то лишь для уменьшения фона, вызванного люминесценцией кюветы, оптики и примесей.

Если пользоваться не кюветой, а пробиркой, то люминесценцию растворов можно измерять под углом 90° к возбуждающему излучению (рис. 2). Такое построение оптической схемы позволяет значительно уменьшить фон первичного излучения.

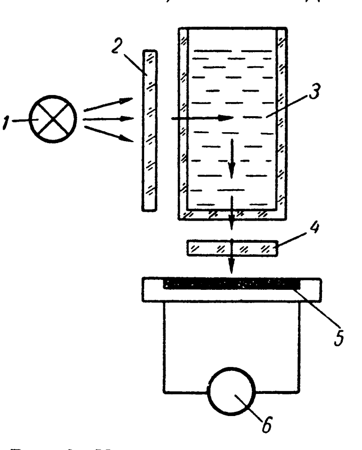


Рис. 2. Измерение люминесценции растворов под углом в 90°.

1 — источник света; *2* — первичный светофильтр; *3* — пробирка; *4* — вторичный светофильтр; *5* — фотоэлемент; *6* — гальванометр.

При измерении люминесценции твердых тел можно применить схему, приведенную на рис. 3. Свет от источника *1*, пройдя первичный светофильтр *2*, попадает на вогнутое зеркало *3*, фокусирующее излучение на пробу *4*. Люминесценция пробы, пройдя через отверстие в зеркале, попадает на фотоэлемент *5* и регистрируется гальванометром *6*. Вторичный светофильтр *7* установлен для подавления фона первичного излучения.

При всех видах измерений используют набор светофильтров: первичных — для выделения монохроматического излучения от источника возбуждения и вторичных — для выделения из этого излучения только света люминесценции.

Универсальность прибора обеспечена его конструкцией. Она состоит из измерительного блока (в котором размещена электронная схема, включающая в себя лампу возбуждения и фотоумножитель) и сменных приставок, позво-

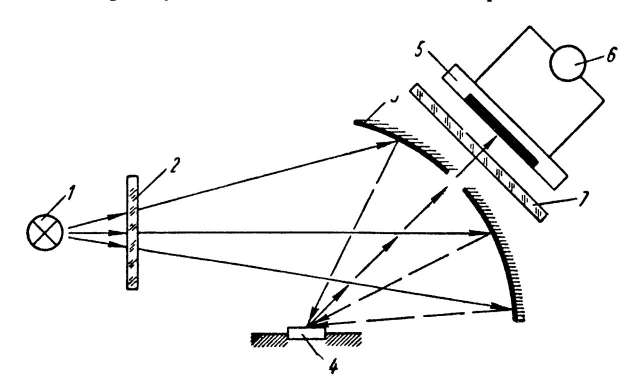


Рис. 3. Измерение люминесценции твердых тел.

ляющих менять вид работы, т. е. переходить от измерения растворов к измерению твердых тел.

Трансформатор питания электронной схемы прибора питается от феррорезонансного стабилизатора.

Для возбуждения фотолюминесценции обычно применяют ртутные или водородные лампы типа ДВС-25 и ДРГС-12, входящие в комплекты спектрофотометров СФ-4 и др. В тех же комплектах имеются специальные стабилизаторы для питания этих ламп. В качестве источников возбуждения можно использовать также газоразрядные ртутные лампы БУВ-15 и ПРК-2. Технические характеристики источников возбуждения и способы их включения — см. [Л. 1].

Применение мощных ртутных ламп в аппаратуре люминесцентного анализа нельзя признать удачным. Эти лампы вызывают ионизацию окружающего воздуха, что вредно для оператора, в связи с чем время их непрерывной работы, как правило, может быть лишь непродолжительным.

К тому же, чтобы стабилизировать горение и автоматизировать ввод этих ламп в стационарный режим работы, требуются громоздкие источники питания.

Лучше пользоваться маломощной ртутной лампой типа УФО-4А, которая обеспечивает непрерывную работу на протяжении 8—10 *ч*, не вызывает ионизации окружающего воздуха, потребляет мощность менее 5 *вт* и поэтому может питаться от общего силового трансформатора. Световой поток лампы легко поддается стабилизации, если напряжение и ток питания стабилизированы. Лампа широко распространена во многих отраслях промышленности и не является дефицитной.

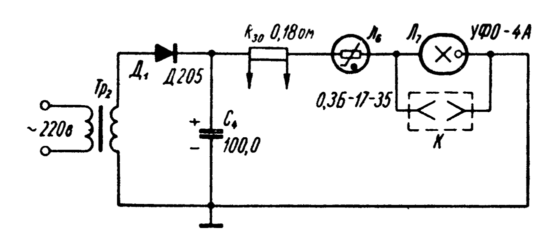


Рис. 4. Питание источника излучения.

На рис. 4 приведена схема питания этой лампы. То обстоятельство, что лампа включена последовательно с бареттером, позволяет обойтись без пускового реостата. Бареттер полезен и тем, что стабилизирует питание лампы по току. С сопротивления R_{30} напряжение подается на измерительный прибор для контроля режима.

На рис. 5 изображена измерительная часть прибора, состоящая из измерительного усилителя с источником питания, регистратора и фотоумножителя. Источник питания включает в себя селеновый выпрямитель АВС-80-260, фильтр, состоящий из сопротивлений R_1, R_2, конденсаторов C_1, C_2 и стабилитрона СГ-1П. Неоновая лампа ТН-0, 3, включенная последовательно с добавочным сопротивлением R_3, сигнализирует о наличии анодного напряжения. Выпрямитель получает питание от вторичной обмотки трансформатора, напряжение на которой равно 180 *в*. С анода стабилитрона напряжение +150 *в* подается на экранирующую сетку регулирующей лампы $Л_9$ высоковольтного стабилизатора напряжения (см. рис. 6).

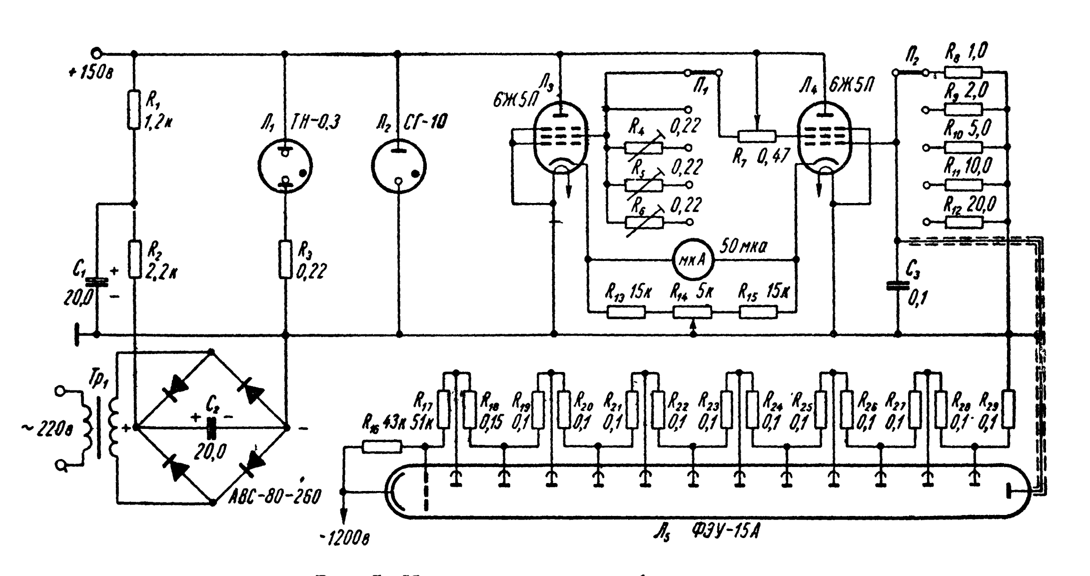


Рис. 5. Измерительная часть флуориметра.

В качестве фотоэлемента применен электронный фотоумножитель типа ФЭУ-15А. Фототок умножителя, пропорциональный световому потоку, усиливается усилителем постоянного тока, собранным по схеме моста на лампах $Л_3$ и $Л_4$ (6Ж5П).

Переключением сопротивлений R_8—R_{12}, расположенных в цепи управляющей сетки лампы $Л_4$, коэффициент усиления усилителя изменяется в отношении 1 : 2 : 5 : : 10 : 20. Потенциометр R_{14} компенсирует темновой ток, т. е. грубо устанавливает нуль.

При переключении чувствительности усилителя пределы измерения расходятся и наблюдается уход нуля на диапазонах 5, 10, 20. Для компенсации ухода нуля вторая плата переключателя подключает компенсирующие сопротивления R_4—R_6, включенные между экранирующими сетками ламп усилителя последовательно с потенциометром R_7, и тем самым точно устанавливает нуль. Величины сопротивлений R_4—R_6 подбирают при настройке, после чего их движки закрашивают краской.

Усиленный фототок регистрируется микроамперметром, включенным между катодами ламп усилителя.

Сопротивления делителя фотоумножителя должны быть подобраны с допуском в $\pm 5\%$.

Настройка схемы заключается в проверке режимов, балансировке усилителя и подборе сопротивлений делителя R_8—R_{12}.

Для питания фотоумножителя требуется выпрямитель со стабилизацией высокого напряжения. В схеме, изображенной на рис. 6, источником высокого напряжения служит одна из вторичных обмоток трансформатора питания напряжением порядка 300—350 *в*. Переменное напряжение с обмотки трансформатора поступает на высоковольтный выпрямитель, собранный по схеме умножения на селеновых столбиках ТВС-7-15М и конденсаторах МБМ (C_5—C_8). Выпрямленное и умноженное в 4 раза напряжение порядка 1300 *в* поступает на высоковольтный стабилизатор напряжения, собранный на лампах $Л_9$—$Л_{11}$. Схема стабилизатора отличается от существующих высокой экономичностью, что позволяет использовать обмотку трансформатора на 300—350 *в* и схему умножения. То обстоятельство, что ток нагрузки ограничен схемой умножения и даже в режиме короткого замыкания не превышает 10 *ма*,

делает стабилизатор весьма рациональным с точки зрения техники безопасности.

Регулирующей лампой $Л_9$ служит телевизионный пентод 6П15П с высоким коэффициентом усиления. На лампе $Л_{10}$ (6Ж5П) собран усилитель постоянного тока. Для получения опорного напряжения применен стабилитрон коронного разряда СГ-302С ($Л_{11}$). Экранирующая сетка лампы 6П15П питается от лампы $Л_2$ (см. рис. 5). Парал-

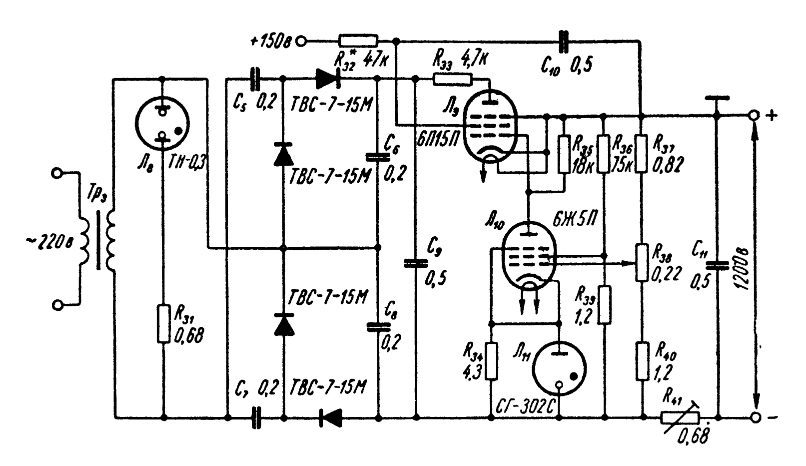


Рис. 6. Высоковольтный стабилизатор.

лельно лампе $Л_{11}$ включено сопротивление R_{34} 4,3 *Мом* для увеличения тока лампы $Л_{10}$.

Потенциометром R_{38} в цепи управляющей сетки лампы $Л_{10}$ можно изменять выходное напряжение стабилизатора (в небольших пределах). Более значительной регулировки высокого напряжения не требуется, так как ее осуществляют при настройке по фотоумножителю с помощью гасящего переменного сопротивления R_{41}. Сопротивлением R_{41} пользуются только при смене ФЭУ.

Неоновая лампа $Л_8$ — индикаторная. Плюс высокого напряжения соединен с землей.

Настройка стабилизатора несложна и сводится к подбору сопротивлений R_{32}, R_{33}, при помощи которых на аноде лампы $Л_9$ устанавливается напряжение около +150 *в*. Затем потенциометром R_{38} устанавливают ток через стабилитрон $Л_{11}$ в пределах 40—50 *мка*. Коэффициент стабили-

зации стабилизатора — порядка 1000. Напряжение накала на лампу $Л_{10}$ подается от отдельной обмотки, а на лампы $Л_3$, $Л_4$, $Л_9$ — от обмотки, один конец которой может быть заземлен.

Трансформатором питания может служить любой трансформатор, рассчитанный на мощность 50—60 *вт*. При питании прибора от феррорезонансного стабилизатора стабильность показаний не зависит от изменения напряжения сети в пределах ±20%.

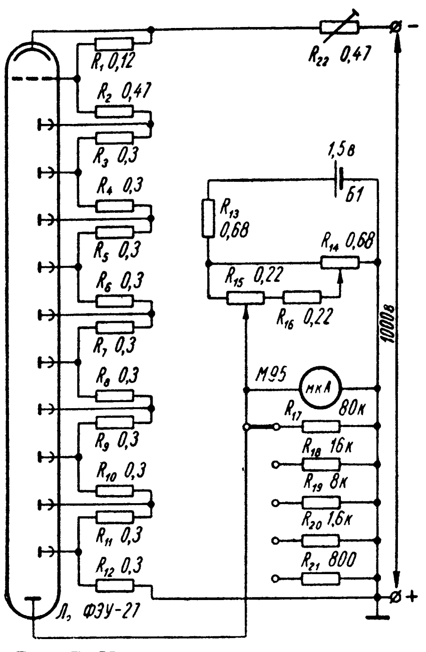


Рис. 7. Измерительная часть простого флуориметра.

С помощью описываемого прибора производят количественные и качественные анализы в органической и неорганической химии. Например, в растворе объемом 5 *мл* было уверенно и с большой точностью измерено $2 \cdot 10^{-9}$ *г* индия.

Электронная схема позволяет использовать прибор и для других целей. Пользуясь различными светофильтрами и способами измерения, можно с высокой степенью точности определять светопоглощение, цвет, светорассеяние и помутнение растворов. Успех во многом зависит от способностей и возможностей исполнителя, так как для выполнения конструкции необходимы соответствующие материалы и условия.

Выше был рассмотрен универсальный прибор для люминесцентного анализа с питанием от сети переменного тока. На рис. 7 приведена простая измерительная схема прибора для люминесцентного анализа с питанием от батарей.

В качестве датчика применен электронный фотоумножитель ФЭУ-27. Высокое напряжение порядка 1000 *в* подается на него от батарей. С анода фотоумножителя фото-

ток поступает непосредственно на измерительный прибор с нижним пределом измерения 0,1 *мка*. Сопротивления R_{17}—R_{21} служат шунтами микроамперметра, при их переключении изменяются пределы измерения.

Для компенсации темнового тока фотоумножителя и электрической установки нуля служит ячейка из сопротивлений R_{13}—R_{16} и батареи $Б_1$.

Этот прибор, несмотря на его простоту, обладает очень высокой чувствительностью, всего на два порядка уступающей чувствительности прибора, описанного выше. Регулировка схемы заключается в подборе сопротивления R_1 и в установке рабочего напряжения фотоумножителя сопротивлением R_{22} по минимальному темновому току и по максимальной чувствительности. Источником излучения может служить лампа УФО-4А, питаемая от аккумулятора. При отсутствии высоковольтных батарей высокое напряжение можно получить от преобразователя, но со стабилизацией напряжения в пределах ± 2 *в*.

Сцинтилляционный прибор для регистрации α-, β- и γ-частиц

Приборы для регистрации α-, β- и γ-частиц состоят из детектора и регистрирующей схемы. Детектор предназначен для преобразования энергии частиц в электрические импульсы. В качестве детекторов α-частиц используют сернистый цинк, активированный серебром, а детекторов β- и γ-частиц — кристалл йодистого натрия, активированный таллием. За последнее время промышленность освоила выпуск детекторов из пластмассы.

Детектор соединяют с фотоумножителем. Частицы, попадающие на детектор, вызывают в нем люминесцирующие вспышки, которые преобразуются фотоумножителем в импульсы тока. Амплитуда и длительность импульса зависят от энергии вспышки и от длительности ее свечения.

Помимо детекторов с фотоумножителями, широкое применение для регистрации радиоактивности нашли газоразрядные счетчики самых различных типов. Характеристики счетчиков и фотоумножителей приведены в приложении. Газоразрядные счетчики для регистрации радиоактивных частиц можно использовать с импульсными усилителями, описанными в главе пятой. При включении газоразрядных счетчиков необходимо согласовать входное со-

противление усилителя с высоким выходным сопротивлением счетчиков. Если в описанной ниже схеме применить газоразрядные счетчики, то умножения высокого напряжения питания не потребуется, так как для счетчиков напряжение питания часто не превышает 300—400 *в*.

Все же в данную схему фотоумножитель включен. Это сделано для повышения качества измерений, так как количество шумовых импульсов у фотоумножителя сравнительно невелико, а разрешающая способность очень высока и ограничивается лишь элементами схемы.

На рис. 8 приведена электронная схема прибора, которая в зависимости от типа детектора может служить для регистрации α-, β- или γ-частиц. Схема выполнена на полупроводниковых приборах и питается от батарей напряжением 4,5 *в*. Потребляемая мощность составляет 100 *мвт*.

Напряжение для питания фотоумножителя ФЭУ-35 ($Л_1$) поступает от высоковольтного преобразователя напряжения, который состоит из брокинг-генератора на транзисторе T_6 и высоковольтного выпрямителя, собранного по схеме умножения. Высокое напряжение стабилизировано стабилитроном коронного разряда СГ-303С.

Световые вспышки, возникающие в детекторе под действием излучения, преобразуются в фотоумножителе в импульсы тока. С анода фотоумножителя импульсы поступают на трехкаскадный усилитель с разрешающим временем 4 *мксек*. Усилитель выполнен на трех транзисторах T_1—T_3 с коллекторными нагрузками. Коэффициент усиления больше 1000, но включение общей отрицательной обратной связи C_2R_9 снижает его до 150—200. Для стабилизации рабочей точки каждого транзистора включены сопротивления местной обратной связи R_3, R_7 и R_{14}. Влияние шумов фотоумножителя на работу усилителя исключается сопротивлением R_1. Импульсы с усилителя поступают на мультивибратор с одним устойчивым состоянием на транзисторах T_4, T_5, который предназначен для формирования импульсов. Скорость счета регистрируется микроамперметром. Переключение диапазонов осуществляется переключателем $П_1$. Микроамперметр градуирован в импульсах в секунду. Это рационально, так как прибор предназначен для измерения средней скорости счета разных частиц.

Постоянная времени регистрирующего прибора, определяемая конденсатором C_{17}, равна примерно 1 *сек*.

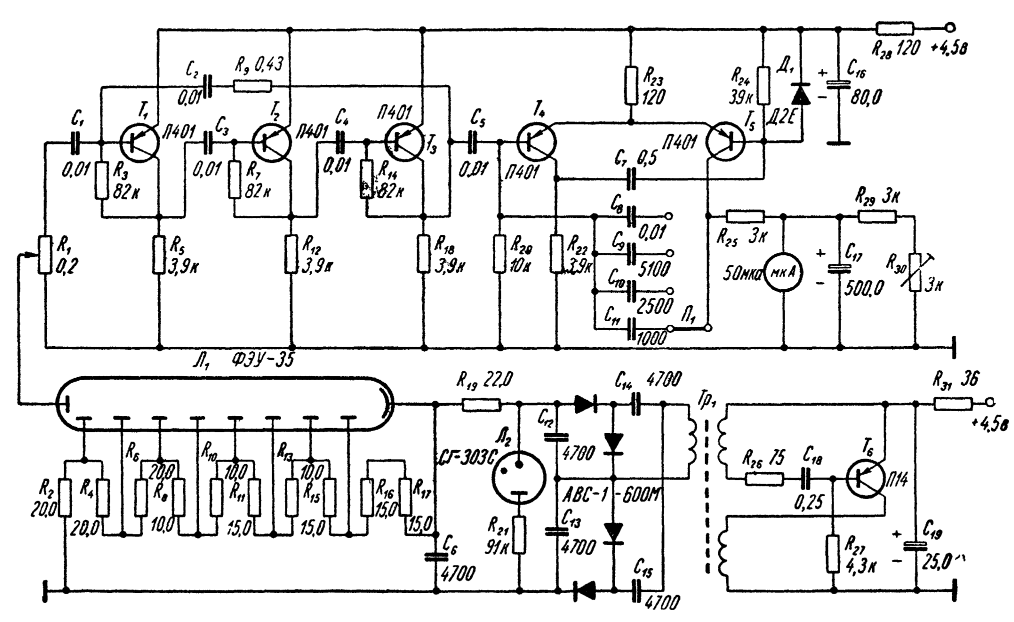


Рис. 8. Прибор для регистрации α-, β- и γ-частиц.

Настройка особых затруднений не вызывает. Подгонку кратности диапазонов осуществляют подбором конденсаторов C_8 — C_{11}. Количество диапазонов при желании можно увеличить. Для этого достаточно выбрать переключатель на большее количество положений.

Весь прибор питается от двух батарей для карманного фонаря, соединенных параллельно.

Прибор для счета световых вспышек

Прибор (рис. 9) предназначен для непосредственного счета световых вспышек, т. е. для определения числа их в единицу времени, а тем самым и для нахождения их средней скорости. Он может быть использован в качестве тахометра, а также датчика прямоугольных импульсов в автоматической аппаратуре.

Световой поток, промодулированный по яркости, падает на германиевый фотодиод ФД-2. Фотодиод включен в цепь базы транзистора T_1, что позволяет расположить рабочую точку на самом крутом участке характеристики фотодиода, так как наибольший прирост фототока наблюдается при изменении приложенного напряжения от 0 до 1,5 *в*. Увеличение яркости светового потока приводит к уменьшению сопротивления фотодиода, что в свою очередь вызывает увеличение приложенного к фотодиоду напряжения. Фототок резко увеличивается и изменяет положение рабочей точки на кривой характеристики транзистора T_1.

Таким образом, фотодиод служит нелинейным регулятором работы транзистора T_1. Усилитель состоит из трех каскадов, каждый из которых включен по схеме с заземленным эмиттером, чем достигается максимально возможный коэффициент усиления. Все три каскада обладают емкостной связью. Для стабилизации режима работы усилителя и для лучшего согласования каскадов транзисторы T_2 и T_3 охвачены отрицательной обратной связью как по постоянному, так и по переменному току (сопротивления R_4 и R_9). Сопротивления R_2, R_3, R_4, R_7, R_9 стабилизируют температурный режим усилителя. Чтобы предотвратить возникновение обратной связи через цепи питания, во второй каскад введен фильтр, состоящий из цепочки R_5C_2.

Когда на вход усилителя, наряду с полезным сигналом, поступает помеха, второй каскад ограничивает его по мини-

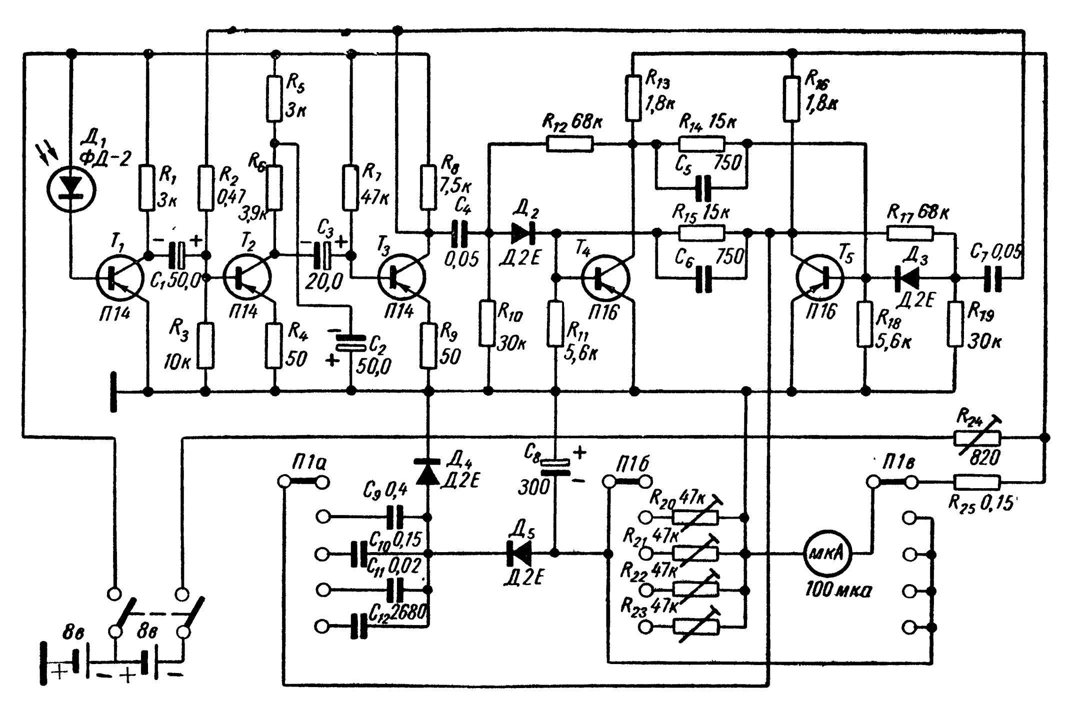


Рис. 9. Прибор для счета световых вспышек.

муму. Усиленный полезный сигнал ограничивается транзистором T_3 по максимуму, что достигается работой транзистора в режиме насыщения. Положительная обратная связь подается через сопротивление R_2. Сочетание положительной и отрицательной обратной связи позволяет получить большой коэффициент усиления и устойчивую работу.

В приборе применен симметричный триггер с коллекторно-базовыми связями. Триггер работает в режиме пересчета и собран на транзисторах T_4 и T_5. Импульсы положительной полярности через конденсаторы C_4, C_7 и диоды $Д_2$, $Д_3$ подаются на базы транзисторов.

Номиналы сопротивлений R_{10}, R_{12} и R_{17} подобраны таким образом, чтобы очередной запускающий импульс воздействовал только на базу отпертого транзистора. Сопротивления R_{11}, R_{14}, R_{15} и R_{18} определяют режим работы триггера. Конденсаторы C_5 и C_6 обусловливают длительность импульса, формируемого триггером. Чтобы обеспечить работу прибора в заданном диапазоне, емкость конденсаторов подбирают опытным путем. Сформированный триггером прямоугольный импульс подается в измерительную часть электрической схемы. Измеритель скорости счета состоит из интегратора и микроамперметра. В приборе применена интегрирующая цепочка, которая заряжается в полупериод, когда транзистор T_5 заперт (заряд конденсаторов C_9—C_{12} происходит через сопротивление R_{16} и диод $Д_4$), и разряжается через микроамперметр, диод $Д_5$ и сопротивление отпертого транзистора в период, когда он находится в состоянии насыщения.

Конденсатор C_8 служит для шунтирования микроамперметра по переменной составляющей интегрированного сигнала, а также для поддержания разрядного тока через рамку измерителя в полупериод подзарядки конденсаторов C_9—C_{12}.

Переменные сопротивления R_{20}—R_{23} облегчают градуировку прибора по поддиапазонам.

Диапазон измеряемой скорости счета, составляющий от 10 до 5000 вспышек в секунду, разбит на четыре поддиапазона: 10—50; 20—200; 100—1000; 500—5000 вспышек в секунду.

Основная погрешность измерения при использовании прибора в качестве тахометра составляет $\pm 2\%$.

Амплитуда выходных импульсов при использовании прибора в качестве датчика прямоугольных импульсов

составляет 9 *в* на нагрузке, превышающей 5 *ком*. Потребляемая мощность не превышает 100 *мвт*.

Переключатель $П_1$ служит для выбора нужного поддиапазона и контроля питания схемы. Регистрирующим прибором служит микроамперметр на 100 *мка*.

Прибор для определения эффективного атомного номера вещества

Метод экспрессного определения эффективного атомного номера $Z_{эфф}$ основан на исследовании рассеянного бета-излучения, возникающего при облучении какой-либо среды пучком бета-частиц [Л. 2].

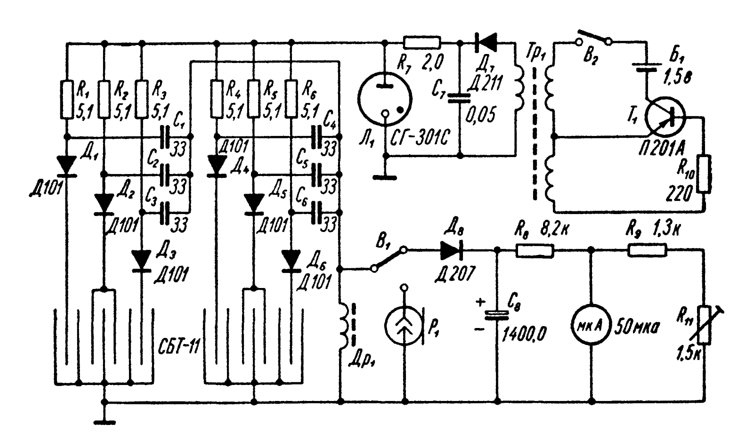


Рис. 10. Прибор для измерения эффективного атомного номера веществ.

Поэтому прибор для определения $Z_{эфф}$ должен иметь радиоактивный изотоп, детектор, счетную схему и регистратор. В качестве источника бета-частиц в приборе применен радиоактивный изотоп Sr^{90}—Y^{90} (стронций 90 + + итрий 90, активностью 0,5 *мкюри*) под названием БИС-1.

Для детектирования обратно-рассеянного излучения в приборе (рис. 10) применены два торцовых галогенных счетчика СБТ-11. Необходимая разрешающая способность детектора достигается применением схемы параллельного включения счетчика с развязывающими диодами $Д_1$—$Д_6$.

В этой схеме аноды счетчика включены между собой через очень малую проходную емкость диодов, что уменьшает взаимное шунтирующее действие анодов между электродными емкостями. Нагрузочные сопротивления R_1—R_6 ограничивают ток счетчиков до допустимых пределов.

С нагрузочных сопротивлений счетчиков импульсы тока подаются на интегрирующий контур интенсиметра R_8, R_9, R_{11} и C_8. Дроссель $Др_1$ служит для согласования высокоомного выходного сопротивления счетчиков с относительно небольшим сопротивлением микроамперметра. Накопительный конденсатор C_8 заряжается через дозирующие конденсаторы C_1—C_6 и диод $Д_8$. Одновременно конденсатор C_8 разряжается через сопротивление R_8 и микроамперметр.

В установившемся режиме через микроамперметр протекает ток, величина которого пропорциональна средней частоте следования импульсов. Эта частота тем больше, чем выше интенсивность регистрируемого излучения, или, в конечном счете, чем выше эффективный атомный номер исследуемой пробы.

Потенциометр R_{11} служит для установки чувствительности прибора при калибровке его шкалы.

Источником высокого напряжения (390 *в*) для питания галогенных счетчиков служит преобразователь, выполненный по схеме самовозбуждающегося блокинг-генератора на транзисторе П201А с коллекторно-базовой обратной связью.

С повышающей обмотки трансформатора $Тр_1$ высоковольтные импульсы подаются на кремниевый диод $Д_7$ и конденсатор фильтра C_7.

Высокое выпрямленное напряжение стабилизируется стабилитроном коронного разряда СГ-301С. Сопротивление R_7 является одновременно фильтрующим и балластным.

Первичным источником питания преобразователя служит сухой элемент напряжением 1,5 *в*.

Регистрирующий прибор калиброван в единицах атомных номеров. Для более точных измерений в приборе предусмотрен выход на внешнее пересчетное устройство (разъем P_1). Выход рассчитан на работу с прибором ПС-20.

Диапазон измерения эффективного атомного номера — от 6 до 30 при основной погрешности $\pm 0,5$ атомного номера. При помощи этого прибора можно оценивать содер-

жание железа, свинца, ртути и других металлов в монометаллических рудах.

Для оценки содержания рудного элемента в пробах прибор предварительно градуируют по образцовым препаратам, имеющим ту или иную концентрацию данного элемента. Для каждого элемента и каждой серии проб одного месторождения строят градуировочный график в координатах: содержание определяемого элемента (в процентах)— показание прибора (в делениях его шкалы).

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Существует много методов измерения магнитных полей и много приборов, сконструированных применительно к особенностям тех или иных измерений. Так, специальные приборы созданы для измерения поля в зазорах магнитоэлектрических приборов и в воздушных зазорах электрических машин, для измерения остаточного магнетизма деталей машин, для обнаружения ферромагнитных включений в немагнитных материалах и т. д. Немало специальных приборов разработано также для различных областей науки и техники, связанных с измерением магнитных полей и магнитных свойств всевозможных веществ.

Конструкцию прибора определяют: а) условия доступа к месту измерения; б) требования к точности измерения и в) экономичность. Например, воздушный зазор в железном магнитопроводе доступен только в направлении, расположенном под прямым углом к силовым линиям, а отверстие магнитной электронной линзы доступно только в направлении, параллельном силовым линиям. Для измерения поля земли нужен высокоточный, чувствительный, малогабаритный прибор. Измерение неоднородных полей также имеет свои особенности, поскольку измерительный элемент определяет только среднее значение магнитной индукции в пространстве, занятом самим измерительным прибором.

Обычно измерительному элементу стараются придать наименьшие размеры, не ухудшая при этом качества измерений.

Метод измерения магнитного поля, основанный на ядерном резонансе, справедливо считается абсолютным и наиболее точным из существующих в настоящее время, однако он не рассматривается здесь из-за его сложности. Изложение ограничивается рассмотрением двух методов измерения магнитного поля с помощью: а) феррозондов и б) датчиков Холла. Если феррозондовые датчики магнитного поля предназначены в основном для измерения магнитных полей меньше одного эрстеда, то датчиками Холла измеряют поля от одного до нескольких тысяч эрстед.

Рассмотрение только этих двух типов датчиков магнитного поля оправдано тем, что среди всех датчиков данного назначения они наиболее современны, обладают наименьшими габаритами и наибольшей чувствительностью и к тому же не требуют сложных измерительных схем. Феррозондовый датчик можно изготовить и не в специальных условиях, а датчики Холла можно заказать.

Простейший феррозондовый датчик магнитного поля состоит из пермаллоевого стержня, по всей длине которого размещена катушка. Физическая сущность измерения магнитного поля с помощью феррозонда заключается в том, что сердечник доводится до состояния магнитного насыщения током генератора определенной частоты (рис. 11, *а*). Если на сердечник наложено слабое постоянное магнитное поле, то на катушке появляется напряжение четных гармоник, величина которого служит мерой напряженности постоянного магнитного поля. Это напряжение отфильтровывается и измеряется. Иначе говоря, действие феррозонда основано на том, что магнитный поток в сердечнике датчика, обусловленный измеряемым магнитным полем, модулируется вспомогательным переменным полем возбуждения сердечника [Л. 3].

Рассмотренная схема плоха тем, что в ней затруднено избавление от напряжения основной частоты и нечетных гармоник; поэтому на практике шире применяют схему с двумя сердечниками (рис. 11, *б*). Наличие двух сердечников уменьшает амплитуду напряжения нечетных гармоник на выходе феррозондового датчика. Первичные обмотки, образующие цепь возбуждения феррозонда, соединены последовательно и встречно. Поверх обмоток возбуждения расположена общая (вторичная) измерительная обмотка. В обмотки возбуждения подается от генератора переменный ток такой величины, чтобы материал сердеч-

ников периодически доводился до состояния магнитного насыщения. При наличии внешнего магнитного поля в измерительной обмотке появляется напряжение четных гармоник, пропорциональное величине поля. Фаза выходного напряжения четных гармоник меняется с изменением знака внешнего магнитного поля на 180°. Чувствительность

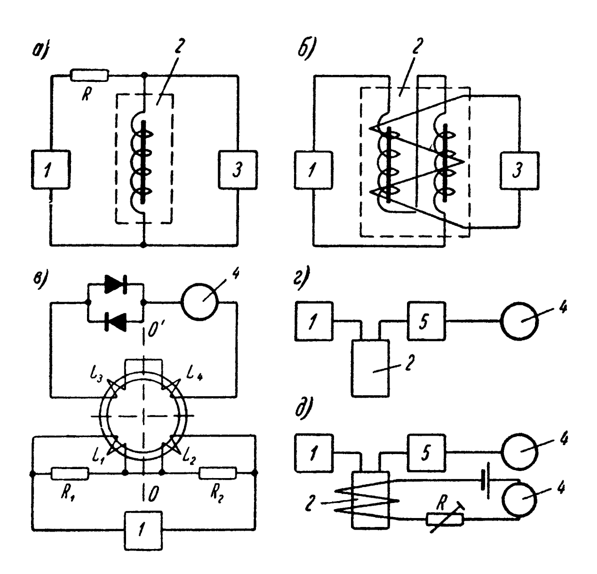


Рис. 11. Феррозонды с одним сердечником (*а*), с двумя сердечниками (*б*), тороидального типа (*в*) и способы измерения: прямой (*г*) и компенсационный (*д*).

1 — генератор частоты, *2* — феррозонд; *3* — избирательный вольтметр; *4* — микроамперметр; *5* — усилитель четных гармоник.

феррозонда пропорциональна сечению сердечника, числу витков измерительной обмотки и частоте тока возбуждения.

И этот феррозонд не лишен недостатка: очень трудно подобрать два одинаковых сердечника, между тем сколько-нибудь значительное различие в их свойствах приводит к появлению напряжения основной частоты и нечетных гармоник.

Этот недостаток устранен в схеме, показанной на рис. 11, *в*. Здесь феррозондом служит тороидальный (кольцевой) сердечник из пермаллоевой ленты, на котором расположены две обмотки возбуждения L_1 и L_2, включенные

последовательно, и две измерительные обмотки L_3 и L_4, включенные последовательно, но встречно. Феррозонд тороидального типа отличается от обычных тороидальных трансформаторов способом расположения обмоток. В феррозонде тороидального типа обмотки распределены равномерно по обеим половинам сердечника, катушки равны по длине, расстояния между ними одинаковы [Л. 4].

По принципу работы такой феррозонд ничем не отличается от феррозонда стержневого типа. Напряжение от генератора поступает в обмотки возбуждения и сердечник периодически доводится до состояния магнитного насыщения. При наличии внешнего магнитного поля по оси $O—O'$ в измерительных обмотках L_3 и L_4 появляется напряжение четных гармоник, и микроамперметр с помощью фазочувствительного выпрямителя на диодах показывает знак и величину поля. С помощью сопротивлений R_1 и R_2 можно уменьшать напряжение нечетных гармоник на выходе.

Тороидальный феррозонд обладает двумя достоинствами: во-первых, малостью намагничивающего тока, обусловленной тем, что магнитная цепь замкнута, и, во-вторых, малостью напряжения нечетных гармоник на выходе схемы, обусловленной тем, что магнитные свойства кольцевого сердечника одинаково влияют на весь феррозонд, а не на отдельные его половины, как в феррозонде на двух сердечниках.

Измерять магнитные поля с помощью феррозондов можно двумя способами: прямым и компенсационным.

При п р я м о м способе феррозонд, усилитель и отсчетный прибор работают как указатель интенсивности поля (рис. 11, *г*). Этот способ прост, но требует высокой стабильности источников питания. Его применяют для решения простых измерительных задач.

При к о м п е н с а ц и о н н о м способе феррозонд и усилитель действуют только в качестве индикаторов нуля, величину же поля отсчитывают по прибору, измеряющему ток компенсации (рис. 11, *д*). Этот способ, при котором стабильность показаний зависит только от постоянства источника тока компенсации, удовлетворяет более высоким метрическим требованиям. Ток компенсации обычно подается в компенсационную катушку, намотанную по всей длине феррозонда поверх измерительной. Можно подавать ток компенсации и в измерительную

катушку, но для этого необходим развязывающий фильтр. Ток компенсации создает магнитное поле, противоположное по знаку внешнему полю. Измеряя ток компенсации, определяют внешнее магнитное поле.

Рассмотренные феррозондовые датчики магнитного поля применяют в металлоискателях, магнитометрах, магнитных дефектоскопах, дистанционных компасах, аппаратах магнитной записи и во многих других приборах.

Чувствительный магнитометр на полупроводниках

На рис. 12 приведена схема простого чувствительного прибора для измерения постоянных магнитных полей в диапазоне от 0,001 до 0,5 *э*. Прибор выполнен на полу-

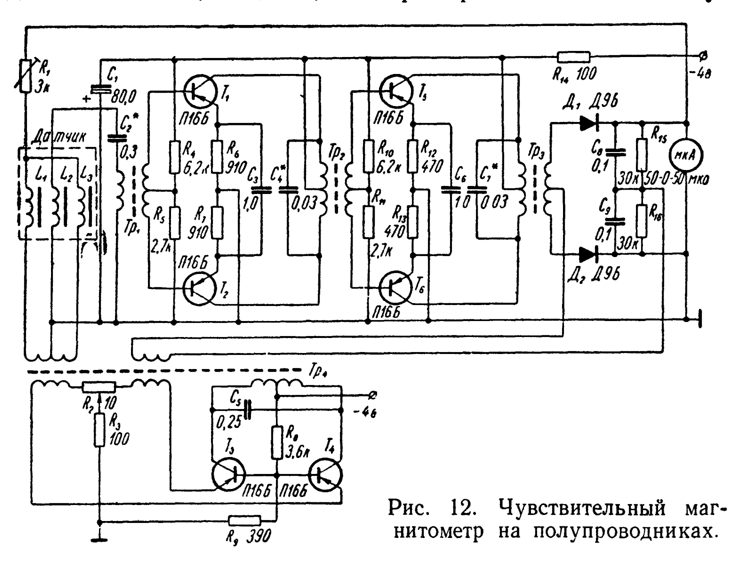


Рис. 12. Чувствительный магнитометр на полупроводниках.

проводниках и питается от батарей. Магниточувствительным элементом служит феррозондовый датчик магнитного поля. Обмотки возбуждения датчика L_1 и L_3 включены последовательно и встречно. Измерительная обмотка L_2 намотана поверх обмоток возбуждения [Л. 5].

Для питания обмоток возбуждения током частоты 2 *кгц* служит двухтактный генератор с индуктивной обратной связью. Режим генератора стабилизирован по постоянному току при помощи делителя R_8, R_9. Для выравнивания

амплитуды напряжения возбуждения служит потенциометр R_2. Напряжение возбуждения — порядка 1,5—1,8 *в*.

Напряжение четных гармоник, пропорциональное внешнему полю, с измерительной обмотки L_2 поступает на входной трансформатор $Тр_1$. С помощью конденсатора C_2 входную цепь настраивают в резонанс для улучшения избирательности. Усилитель на транзисторах T_1, T_2, T_5, T_6 является избирательным фазочувствительным микровольтметром. Связь между двухтактными каскадами — трансформаторная, причем первичные обмотки трансформаторов $Тр_2$ и $Тр_3$ настроены в резонанс конденсаторами C_4 и C_7. Резонансный усилитель позволяет четко выделить вторую гармонику частоты 4000 *гц* и подавить нечетные гармоники на 30—40 *дб*.

Для температурной стабилизации усилителя служат сопротивления обратной связи R_6, R_7, R_{12}, R_{13}. Режим транзисторов по постоянному току подбирают с помощью делителей R_4, R_5 и R_{10}, R_{11}. Выход усилителя нагружен на фазочувствительный синхронный детектор, выполненный на двух германиевых диодах $Д_1$ и $Д_2$, включенных дифференциально по схеме однополупериодного выпрямления. Особенностью детектора является зависимость полярности выпрямленного напряжения на выходе детектора от фазы второй гармоники, поступающей с усилителя и зависящей, в свою очередь, от знака измеряемого магнитного поля.

Это достигается подачей опорного коммутирующего напряжения от генератора на диоды, что вызывает синхронное с сигналом изменение проводимости диодов и обеспечивает фазочувствительное выпрямление. Упрощенно работу синхронного детектора можно представить следующим образом.

При прохождении положительного опорного напряжения оба диода одновременно отпираются. Ток, проходящий через сопротивления и конденсаторы, создает падение напряжения, необходимое для отсечки диодов. Угол отсечки диодов, определяемый величинами этих элементов, выбирают равным $\pi/3$, что обеспечивает подавление третьей гармоники сигнала. При отрицательном полупериоде напряжения генератора сигнал второй гармоники не детектируется, так как диоды заперты. Для получения максимального выпрямленного тока необходимо, чтобы напряжение сигнала было сдвинуто по фазе относительно опорного

напряжения на $\pi/2$. Это вызвано условиями работы, так как частота сигнала в два раза больше частоты опорного напряжения. Величина опорного напряжения, поступающего от генератора, составляет около 8—9 *в*, частота 2 *кгц*. Нагрузкой детектора служит микроамперметр на 50 *мка* с нулем посередине.

Более детальное пояснение принципа работы фазочувствительного детектора можно найти в работах [Л. 6 и 7].

Вся измерительная схема охвачена отрицательной обратной связью, которая через сопротивление R_1 подается на катушки возбуждения. С помощью этого сопротивления изменяют диапазон измерения. Для компенсации внешнего магнитного поля можно применить небольшой постоянный магнит, закрепив его на датчике.

Вращением магнита вокруг оси компенсируют внешнее поле до 0,5 *э*. Потребляемый прибором ток не превышает 50 *ма*. Для точных измерений напряжение питания должно составлять 4 *в* $\pm 2\%$.

Феррозондовый датчик состоит из двух пермаллоевых сердечников марки 80НХС $0,1 \times 1,5 \times 46$ *мм*. На каждый сердечник в отдельности намотано по возбуждающей обмотке из 800 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,1 *мм*. Сердечники параллельно закреплены в каркасе, расстояние между ними 2 *мм*. Сверху намотана измерительная обмотка, состоящая из 2500 витков того же провода. Для предохранения от механических повреждений вся конструкция залита головаксом и помещена в футляр из пластмассы. Датчик соединен с прибором экранированным кабелем длиной 5—7 *м*.

Максимальная чувствительность прибора такова, что при компенсации внешнего магнитного поля до нуля стрелка микроамперметра под воздействием магнитного поля канцелярской кнопки, расположенной в 150 *мм* от датчика, отклоняется на 10 делений.

Прибор для определения намагниченности и магнитной восприимчивости различных веществ

Напомним, что вещество, будучи помещено в магнитное поле, намагничивается, т. е. само приобретает магнитные свойства. Магнитный момент единицы объема намагниченного тела называют **намагниченностью**. Спо-

собность вещества к намагничиванию определяет отношение намагниченности к напряженности внешнего магнитного поля, вызывающего намагничение, и поэтому, магнитную восприимчивость можно определить как коэффициент пропорциональности между намагниченностью и внешним магнитным полем. Измерение намагниченности и магнитной восприимчивости различных веществ дает много ценных сведений о природе и свойствах исследуемого вещества.

На рис. 13 показана схема прибора, измеряющего указанные величины ферромагнитных, парамагнитных и диамагнитных веществ. Схема состоит из генератора, тороидального феррозонда, измерительного избирательного усилителя, синхронного детектора и регистрирующего прибора.

Генератор возбуждения выполнен на двух транзисторах T_1 и T_2. Первый каскад — задающий, частота генерации равна 3 *кгц* и определяется параметрами катушки L_1 с отводом от середины и конденсатора C_1. Устойчивую генерацию обеспечивают подбором величины обратной связи с сопротивления R_4 через сопротивление R_1 на базу транзистора T_1. Задающий генератор и выходной каскад связаны между собой через конденсатор C_3 и сопротивление R_5. Назначение сопротивления R_5— уменьшать влияние выходного каскада на транзисторе T_2 на частоту задающего генератора. Для температурной стабилизации всего генератора служат делители напряжения в цепях без транзисторов R_2, R_3 и R_6 и диод $Д_1$ (типа Д7Ж).

Напряжение генератора, составляющее около 2 *в*, поступает на феррозондовые датчики тороидального типа $Тр_2$ и $Тр_3$. Оба датчика совершенно идентичны по способу изготовления и по конструкции, их первичные обмотки включены последовательно. Так же последовательно они включены между собой. Вторичные обмотки датчика $Тр_2$ соединены между собой последовательно, но встречно. Так же соединены друг с другом вторичные обмотки датчика $Тр_3$. Между собой секции вторичных обмоток обоих датчиков соединены последовательно, но встречно. Точками у обмоток на схеме датчиков обозначены начала обмоток.

Согласование секций вторичных обмоток датчиков между собой обеспечено их шунтированием посредством сопротивлений R_7—R_9.

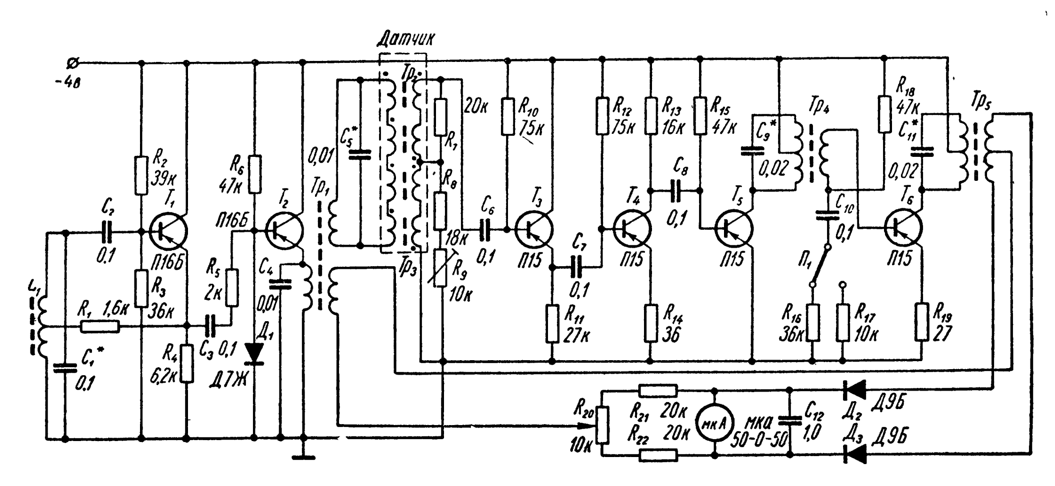


Рис. 13. Прибор для определения намагниченности и магнитной восприимчивости различных веществ.

Каждый датчик выполнен в виде тороидального сердечника из четырех витков пермаллоевой ленты толщиной 0,1 *мм* и шириной 6 *мм*. Диаметр кольца 40 *мм*. Лента снаружи и изнутри защищена эбонитовыми кольцами, стенки которых имеют в толщину 1 *мм*. Обмотки на кольце расположены симметрично относительно друг друга. Расстояние между обмотками — по 10 *мм*. Каждая обмотка содержит по 400 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,2 *мм*. Оба датчика прибора расположены соосно — оси $O—O'$ имеют одно направление (см. рис. 11, *в*). Катушки можно расположить в любой плоскости.

Когда имеется внешнее магнитное поле, то сигнал на выходе системы отсутствует (наведенные сигналы в каждом датчике по отдельности компенсируют друг друга способом включения катушек) и измерительный усилитель не работает.

Если в один из датчиков помещают вещество, по своим магнитным свойствам отличающееся от воздуха, то система выходит из равновесия и на транзистор T_3 поступает напряжение четных гармоник, пропорциональное магнитным свойствам этого вещества.

Напряжение сигнала усиливается избирательным усилителем, детектируется синхронным детектором и поступает на микроамперметр. Схема избирательного усилителя построена на четырех транзисторах T_3—T_6. Нужная избирательность по четным гармоникам осуществляется резонансными контурами, включенными в коллекторы транзисторов T_5, T_6. Коэффициент усиления усилителя по напряжению — около 600.

Температурную стабилизацию усилителя можно обеспечить не только местной отрицательной обратной связью, но и сопротивлениями R_{10}, R_{12}, R_{15}, R_{18}, включенными на базы транзисторов. Регистрирующим прибором служит микроамперметр на 50 *мка* с нулем посередине. Сопротивлением R_{20} можно балансировать в небольших пределах показания прибора на нуль, но подвергаемое измерению вещество не должно при этом находиться в приборе.

Измерять намагниченность и магнитную восприимчивость можно при воздействии внешнего магнитного поля 3—5 *э*.

Шкала регистрирующего прибора должна быть откалибрована для ряда веществ с известными магнитными характеристиками. Расширению возможностей прибора способ-

ствует наличие в нем переключателя диапазонов $П_1$ на два положения. Напряжение питания прибора должно составлять 4 *в*±5%. Потребляемый прибором ток составляет 30—40 *ма*.

Так как собственных наименований единицы намагниченности и магнитной восприимчивости не имеют, то при измерениях используют табличные данные из какого-либо справочника, например по физике.

Магнитометры на датчиках Холла

Эффектом Холла называют возникновение поперечной э. д. с. во всякой пластине, по которой в продольном направлении протекает электрический ток, испытывающий воздействие магнитного поля, перпендикулярного пластине.

Рис. 14. Простой магнитометр на датчике Холла.

Датчик Холла для измерения магнитных полей представляет собой пластину из полупроводниковых материалов, к торцам которой подключены четыре электрода: два точечных и два плоских, с контактами по длине торца.

Плоские электроды служат для подвода к датчику напряжения от источника тока. Под действием этого напряжения по пластине датчика протекает ток. При воздействии на пластину датчика внешнего магнитного поля на точечных электродах возникает э. д. с. Холла, зависящая от величины приложенного магнитного поля и служащая мерой его выражения.

Прямоугольная пластина датчика Холла размером 6 × 5 × 0,4 *мм* может развить, например, э. д. с. до 1 *в* при мощности до 0,2 *вт*.

Электрическая схема включения датчика Холла в схему простого магнитометра, предназначенного для измерения магнитных полей обоих знаков с верхним пределом до 15 000 *э*, приведена на рис. 14.

В схеме [Л. 8] использован датчик Холла из германия размером 2 × 2 × 0,5 *мм*. Рабочий ток датчика, соста-

вляющий около 10—15 *ма*, устанавливают при помощи переменных сопротивлений R_3 и R_5. Потенциометр R_3 служит для изменения диапазона измерений и чувствительности. Сопротивление R_4 является ограничивающим.

В качестве регистрирующего милливольтметра применен самопишущий потенциометр ЭПП-09 с входным сопротивлением в 100 *ом* и чувствительностью 46 *мв* на всю шкалу. Контакты датчика, с которых снимается э. д. с. Холла, не должны быть асимметричными, т. е. при отсут-

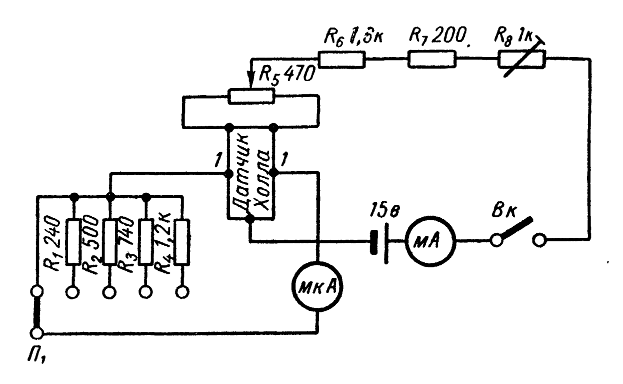


Рис. 15. Высокочастотный магнитометр на датчике Холла.

ствии внешнего магнитного поля э. д. с. на них должна отсутствовать. Для компенсации э. д. с. асимметрии производится установка нуля при помощи сопротивлений R_1 и R_2. Питание магнитометра требует 5—6 *в*. Для предупреждения механических повреждений датчик Холла помещают в футляр из пластмассы.

Вольтамперные характеристики датчиков Холла прямолинейны, что значительно облегчает градуировку прибора.

Недостаток описываемого магнитометра заключается в том, что температурный диапазон, при котором погрешность измерения не превышает 3—5%, весьма ограничен и не выходит за пределы 10—30° С.

На рис. 15 приведена схема магнитометра [Л. 9] с пределом измерений напряженности магнитного поля от 0,5 до 17500 *э* и точностью измерений до 1 %. В схеме использован датчик Холла из германия размером 2 × 1,5 × 0,7 *мм*.

Прибор имеет пять пределов измерения, переключаемых переключателем $П_1$; 0—3000; 0—7500; 0—12000; 0—15000; 0—17500 *э*. Прибор питается от батареи напряжением 15 *в*. Рабочий ток датчика 1 *ма* устанавливают сопротивлением R_8.

Компенсации асимметрии холостого хода способствует то, что в верхней части датчика имеются два контакта вместо одного. Контакты подключены к потенциометру R_5, регулировка которого позволяет устанавливать нуль на микроамперметре при отсутствии измеряемого поля. Напряжение сигнала снимается с контактов датчика *1—1*.

Достоинство магнитометров на датчиках Холла заключается в простоте схем и конструкций, высокой экономичности по питанию, исключительно малых габаритах датчиков и приборов в целом. К недостаткам следует отнести большую температурную зависимость и возможность измерять только сравнительно сильные магнитные поля.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

УСИЛИТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ТРАНЗИСТОРАХ

Усилители постоянного тока на транзисторах бывают: а) с непосредственной связью между каскадами и б) с преобразованием постоянного тока в переменный, осуществляемым с помощью преобразователей различного типа.

Применение усилителей постоянного тока (УПТ) на транзисторах в измерительных целях ограничено заметным дрейфом тока на выходе [Л. 10]. Характерно, что этот дрейф наблюдается даже при отсутствии входного сигнала. Величина дрейфа обусловлена температурной зависимостью транзисторов и их старением.

Требования, предъявляемые к УПТ на транзисторах, варьируются в зависимости от задач, решаемых этими приборами. Так, для ряда применений вовсе не обязательны высококачественные и высокостабильные УПТ на транзисторах, усложняющие конструирование и наладку. Для простых измерительных задач, например для увеличения чувствительности стрелочного прибора кратковременного пользования, пригодны схемы УПТ на двух-трех транзисторах. Следует отметить, что до настоящего вре-

мени не построены УПТ на транзисторах, которые по своим параметрам (за исключением экономичности и компактности) были бы сравнимы с ламповыми. Существенным недостаком УПТ на транзисторах является и то, что при сравнительно простой схеме не удается получить ни высокого входного сопротивления порядка 10—20 *Мом*, ни чувствительности по току $1 \cdot 10^{-12}$ *а*.

Простейшие двухкаскадные усилители

Простейший двухкаскадный УПТ, показанный на рис. 16 [Л. 11], можно применить в качестве вольтметра с низким входным сопротивлением. Схема питается от батарей 5—8 *в* и потребляет ток 5—6 *ма*. Когда на выходе схемы включен микроамперметр на 100 *мка*, то входной

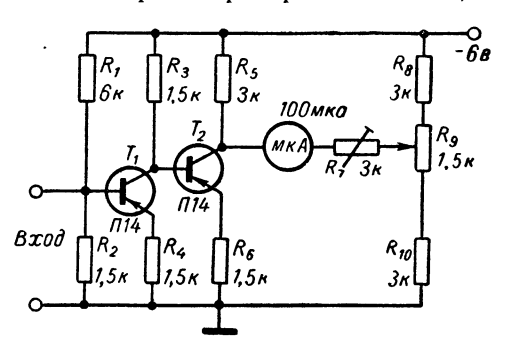


Рис. 16. Простейший УПТ.

сигнал в 5—10 *мв* отклоняет стрелку прибора на всю шкалу. Входное сопротивление можно значительно увеличить, если последовательно с сопротивлением сигнала включить большое сопротивление, например порядка 100 *ком*; однако чувствительность прибора в целом при этом значительно понизится. Усилитель термостабилизирован в диапазоне ±10% при помощи сопротивлений R_1, R_2, R_4, R_6. Для установки нуля прибора перед измерением служит потенциометр R_9, а для калибровки — сопротивление R_7. Погрешность прибора при измерении напряжения не превышает ±3%. При указанных параметрах на схеме диапазон измеряемых напряжений составляет 2—100 *мв*.

На рис. 17 приведена схема УПТ, в которой начальные токи коллекторов компенсированы благодаря применению транзисторов различной проводимости [Л. 11].

Схема питается от батареи напряжением 1,5 *в* при токе 5—8 *ма*. Усиление составляет при этом 200—250. Входной ток 0,4—0,5 *мка* отклоняет на всю шкалу стрелку микроамперметра на 100 *мка*. Включение транзисторов обеспечивает температурную стабилизацию, но в небольшом интервале. Недостатком схемы является необходимость тщательного подбора транзисторов по начальному току

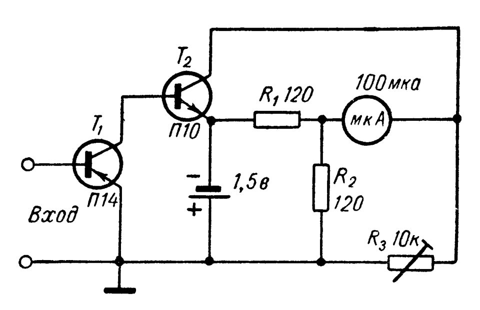


Рис. 17. Простой УПТ с компенсацией.

коллектора. Для установки нуля перед измерением служит сопротивление R_3.

Включение на выходе усилителя микроамперметра на 10—50 *мка* повышает чувствительность прибора, но усиливает флуктуацию, что в свою очередь увеличивает погрешность и затрудняет отсчеты. Схему можно использовать совместно с фотоэлементами, а также в схеме вольтметра на транзисторах (для увеличения чувствительности миллиамперметра).

Простые измерительные усилители

На рис. 18 изображен УПТ на транзисторах от универсального вольтметра ВК7-6 [Л. 12] с измененными номиналами. УПТ выполнен по несимметричной балансной схеме, получает питание от батарей 1,5 *в* и потребляет ток 1—2 *ма*. Усилитель обладает повышенным входным сопротивлением. Коэффициент усиления в зависимости от типа транзисторов составляет от 80 до 150. Регистри-

рующим прибором служит микроамперметр. При подаче на вход усилителя тока величиной 1 *мка* стрелка микроамперметра отклоняется на всю шкалу. Температурная погрешность усилителя не превышает ±3% при изменении температуры от +15 до +35° С.

Транзистор T_2 является усилительным. Для температурной компенсации в коллектор транзистора T_2 включен транзистор T_1. Параметры обоих транзисторов не должны отличаться друг от друга. Транзистор T_3 включен по схеме

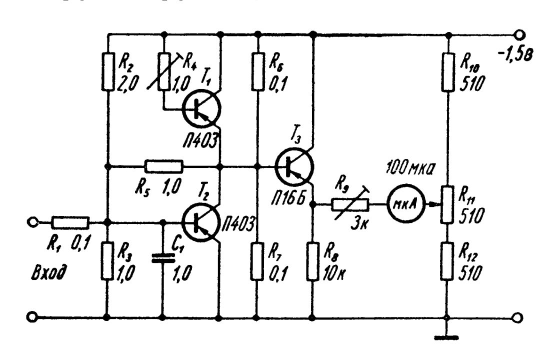


Рис. 18. УПТ от вольтметра.

эмиттерного повторителя. Установка нуля производится потенциометром R_{11}. При калибровке усилителя используется сопротивление R_9. Наладка и правильная работа усилителя достигаются подбором сопротивлений R_2, R_4 и R_5.

На рис. 19 показана схема более сложного усилителя [Л. 13], обладающего повышенной стабильностью. При изменении температуры на ±20° С коэффициент усиления изменяется не более чем на ±5%. Усилитель питается от незаземленных батарей на 12 *в*, напряжение которых можно стабилизировать кремниевым стабилитроном. Потребляемый усилителем ток определяется в основном сопротивлениями делителей R_{12}—R_{14} и R_{15}—R_{17}. Измерительный усилитель состоит из трех транзисторов T_2, T_3 и T_4, соединенных между собой непосредственно.

Коэффициент усиления усилителя равен 500—600. Для температурной стабилизации в схему усилителя включен компенсирующий генератор тока на транзисторе T_1.

При изменении окружающей температуры генератор тока вырабатывает компенсирующий сигнал, часть которого подается на вход первого, а часть — на вход второго каскада. Коэффициент деления тока компенсации между входами первого и второго каскадов определяется положением движка потенциометра R_2. Схему можно отрегулировать так, что температурная погрешность будет меньше 1%. Чувствительность усилителя 0,01 *мка*. При подаче на вход 0,1 *мка* стрелка регистрирующего микроампер-

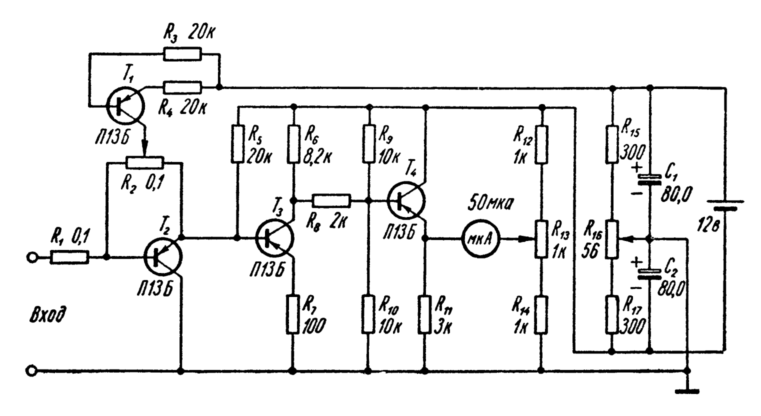


Рис. 19. Стабильный УПТ.

метра на 50 *мка* отклоняется на всю шкалу. Дрейф нуля при замкнутом входе составляет 2—3 деления за 4 *ч* непрерывной работы.

На рис. 20 приведена схема дифференциального УПТ на транзисторах с термокомпенсацией [Л. 14].

Входное сопротивление усилителя — низкое. Коэффициент усиления составляет 200—500 — в зависимости от транзисторов и настройки. Чувствительность усилителя 100 *мкв*. Схема состоит из двух дифференциальных усилителей параллельного типа. Первый из них выполнен на транзисторах T_1 и T_3 с нагрузками в коллекторах, а второй — на транзисторах T_4 и T_5. Коллекторы первого усилителя соединены на прямую с базами второго усилителя. На транзисторе T_2 собран генератор тока, вырабатывающий компенсирующий сигнал дрейфа. Для термокомпенсации включена дополнительная цепочка из диода $Д_2$ и сопротивления R_7. Недостатками данного усилителя

являются сложная настройка и необходимость тщательно подбирать парные транзисторы. Питаться прибор должен от батарей напряжением 50 *в* с заземленной средней точкой, что также неудобно.

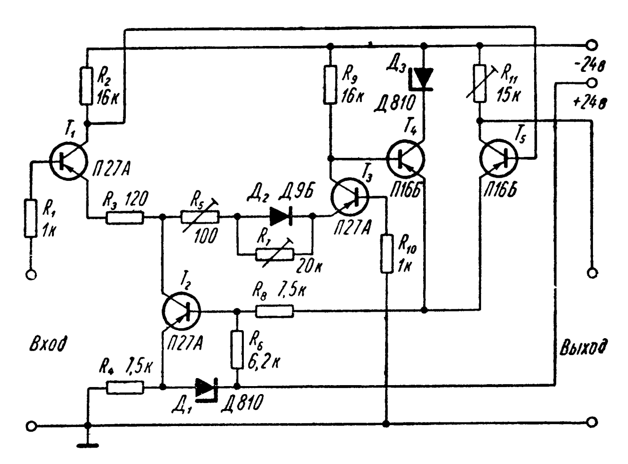


Рис. 20. Дифференциальный УПТ с термокомпенсацией.

Усилители постоянного тока с преобразователями

Усилители постоянного тока на транзисторах с непосредственным усилением сигнала отличаются большой величиной дрейфа нуля. Другим недостатком этих УПТ является большое влияние, оказываемое низкочастотными шумами транзисторов. Шум первого входного транзистора беспрепятственно усиливается усилителем наравне с сигналом и поступает на выход, затрудняя отсчет. Этот недостаток особенно существенен ввиду того, что величина шума меняется от самых различных причин и не поддается уменьшению или стабилизации с помощью известных средств [Л. 15].

Обязательными условиями построения высококачественного УПТ на транзисторах с температурной и временной стабилизацией дрейфа являются поэтому преобразование сигнала постоянного тока в сигнал переменного тока, усиление переменного тока до необходимой величины и дальнейшее детектирование.

Главным требованием, предъявляемым к УПТ с преобразованием, является стабильность самого преобразова-

теля (модулятора), так как усилители выполняются с емкостными или трансформаторными связями и дрейф рабочей точки не передается от каскада к каскаду. Количество собственных шумов также резко снижается, так как спектр низкочастотных шумов ограничен шириной полосы пропускания усилителя.

На рис. 21 представлена схема УПТ на транзисторах с механическим преобразователем напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока [Л. 16]. Преобразователь — поляризованное реле с двумя обмотками, управляемое двухтактным генератором. Сигнал постоянного тока поступает на вход УПТ через сопротивление R_1. Вход усилителя шунтирован сопротивлением R_2 и конденсатором C_1. Конденсатор обязательно должен быть бумажным и иметь небольшой ток утечки при высоком сопротивлении изоляции. Через сопротивление R_3 сигнал поступает в точку соединения конденсатора C_2, сопротивления R_4 и левого (по схеме) контакта преобразователя. Контакт преобразователя подключен параллельно сопротивлению R_4 в момент замыкания и производит размыкание цепи с частотой генератора 120—130 *гц*.

Таким образом, потенциал напряжения, падающий на сопротивлении R_4, модулируется с частотой генератора. Промодулированный сигнал постоянного тока через конденсатор C_2 поступает на базу транзистора T_1, на котором собран входной каскад усилителя переменного тока. Усилитель переменного тока собран на пяти транзисторах T_1—T_5. Первые три каскада включены по схеме с общим эмиттером с непосредственной связью между собой и различаются только номиналами и режимами. Для температурной стабилизации все три каскада охвачены местной отрицательной обратной связью по постоянной и переменной составляющим сигнала.

Ячейки отрицательной обратной связи в цепи эмиттеров состоят из сопротивлений R_8, R_9; R_{12}, R_{13} и R_{16}, R_{17} и конденсаторов C_4, C_7, C_9. Чтобы увеличить входное сопротивление каскадов, этими конденсаторами шунтированы не все эмиттерные сопротивления, а только нижние (по схеме), т. е. R_9, R_{13} и R_{17}. Температурная стабилизация обеспечена тем, что в цепь базы транзистора T_1 включен делитель, состоящий из сопротивлений R_5 и R_6.

Первый и второй каскады усилителя питаются пониженным напряжением с минимальными флуктуациями.

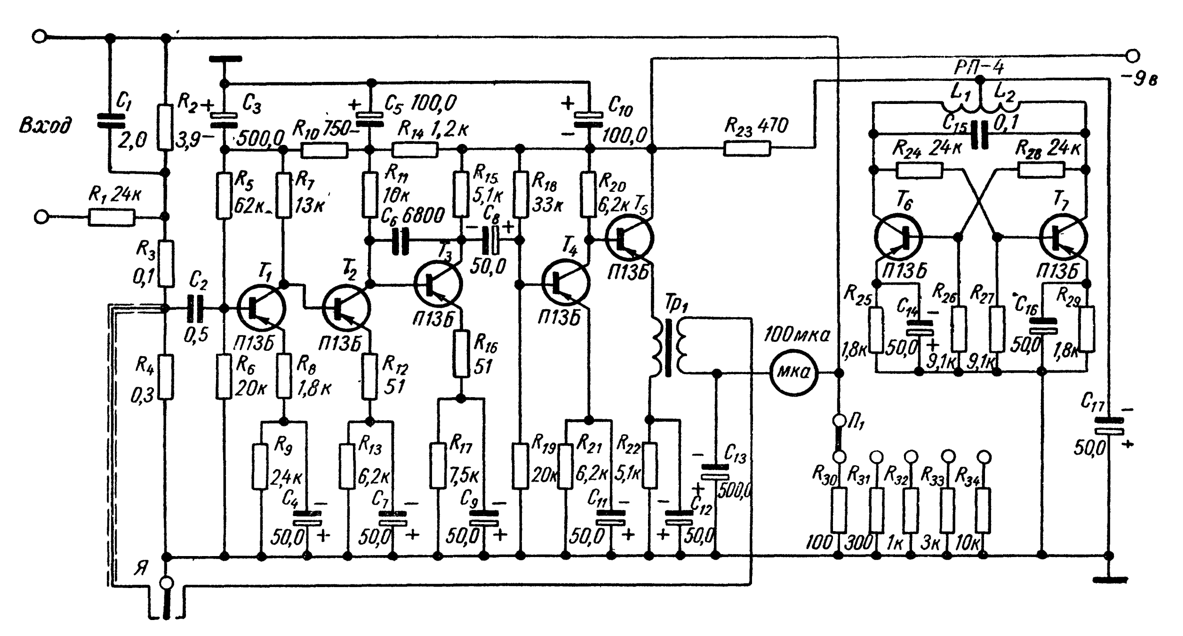


Рис. 21. УПТ с механическим преобразователем.

Роль развязывающего фильтра по питанию первых двух каскадов выполняют сопротивления R_{10}, R_{14} и конденсаторы C_3, C_5 типа ЭГЦ. Чтобы предотвратить возбуждение усилителя и подавить высокочастотную составляющую, между базой транзистора T_2 и коллектором транзистора T_3 включен конденсатор C_6. Четвертый каскад усилителя также выполнен по схеме с общим эмиттером. Связь между третьим и четвертым каскадами осуществлена через конденсатор C_8. Выходным каскадом служит эмиттерный повторитель, работающий на трансформатор Tp_1; последний служит для согласования выходного сопротивления эмиттерного повторителя со стрелочным прибором, а также для устранения влияния цепи обратной связи на выходной каскад.

Регистрирующий прибор — микроамперметр на 100 *мка* — включен последовательно с одним из сопротивлений обратной связи R_{30}—R_{34}. Переключатель $П_1$ служит для переключения сопротивлений обратной связи, а тем самым и для установки нужного предела измерения.

Сигнал переменного тока на вторичной обмотке выходного трансформатора преобразуется в постоянный при помощи механического выпрямителя. Его роль выполняет второй контакт (правый по схеме) преобразователя, который синхронно переключается на землю с частотой генератора.

Напряжение параллельной отрицательной обратной связи с одного из сопротивлений R_{30}—R_{34} поступает на вход усилителя. Так как величина отрицательной обратной связи близка к 100%, то усилитель в целом можно назвать автокомпенсационным. Таким образом, на вход усилителя поступает напряжение, равное разности между напряжением сигнала и напряжением выхода. Генератор преобразователя выполнен на транзисторах T_6 и T_7. Частота генератора определяется индуктивным сопротивлением обмоток L_1 и L_2 реле РП-4, которое и служит механическим преобразователем. Для температурной стабилизации и устойчивой работы генератора используются делители в цепи баз и эмиттерные сопротивления, шунтированные конденсаторами. Назначение этих элементов — то же, что и в усилителе.

При изготовлении усилителя следует тщательно экранировать генератор, а якорь преобразователя *Я* заземлять в той точке схемы, при заземлении на которую шумы уси-

лителя минимальны (порядка 30—50 *мкв* при закороченном входе).

Первый транзистор в усилителе должен быть с малым значением обратного тока коллектора (менее 1 *мка* при 5 *в*) и низким уровнем шумов (ниже 8 *дб* на частоте 1000 *гц*).

Использовав в качестве первых трех транзисторов малошумящие транзисторы типа П27А, можно значительно снизить шумы и понизить порог чувствительности усилителя.

При номиналах, указанных на схеме, усилитель имеет входное сопротивление порядка 1,0 *Мом* на всех пределах и самый чувствительный предел в 1 *мв*. Остальные пределы кратны сопротивлению делителя обратной связи R_{30}—R_{34}. Усилитель имеет основную погрешность ±3% и нормально работает при изменении напряжения питания от 9,6 до 7 *в*. При изменении температуры от —20° С до +50° С прибор дает дополнительную погрешность в ±2%.

На рис. 22 показана схема УПТ на транзисторах с преобразованием входного сигнала постоянного тока в сигнал переменного тока с помощью преобразователя на транзисторах [Л. 17]. У этого УПТ характеристика в отношении временного дрейфа нуля лучше, чем у рассмотренного выше. Это объясняется тем, что механический преобразователь, выполненный на поляризованном реле, требует в случае продолжительной работы частой подстройки, так как части реле подвержены деформации и усталости. Преобразователи же на транзисторах, выполняющие ту же роль, более долговечны и стабильны во времени, но и они не лишены недостатков. Это — бо̀льшая температурная зависимость, усложнение схемы и больший уровень минимального сигнала, который можно усилить без влияния шумов.

Преобразователь постоянного тока в переменный выполнен на транзисторах T_1 и T_2. Эти транзисторы работают в ключевом режиме под действием управляющего переменного напряжения 1 *в*, подаваемого на коллекторы и базы. Генератор, вырабатывающий напряжение переключения с частотой 100—200 *гц*, на схеме не показан.

Сигнал постоянного тока подвергается модуляции от преобразователя в точке соединения сопротивления R_1, конденсатора C_1 и эмиттера T_1.

После преобразования входной сигнал поступает на усилитель переменного тока, собранный на транзисторах

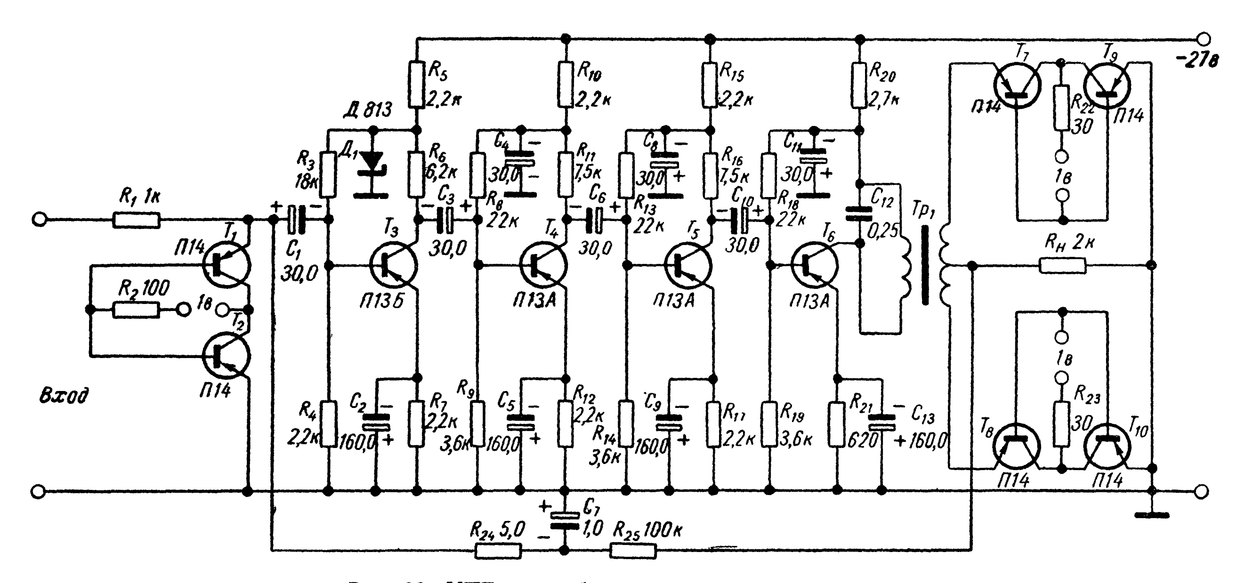


Рис. 22. УПТ с преобразователем на транзисторах.

T_3—T_6. Каскады усилителя выполнены по схеме с общим эмиттером. Для температурной стабилизации в цепях баз транзисторов включены делители, состоящие из сопротивлений: R_3, R_4; R_8, R_9; R_{13}, R_{14} и R_{18}, R_{19}. Каждый усилительный каскад охвачен местной отрицательной обратной связью при помощи сопротивления в цепи эмиттера, шунтированного конденсатором. По цепи питания все четыре усилительных каскада имеют раздельные развязывающие ячейки, состоящие из сопротивления и конденсатора. Питание входного каскада на транзисторе T_3 стабилизировано при помощи кремниевого стабилитрона $Д_1$.

Выходной каскад усилителя на транзисторе T_6 нагружен на трансформатор $Тр_1$, первичная обмотка которого настроена в резонанс при помощи конденсатора C_{12}. Нагрузка усилителя включена между землей и средней точкой вторичной обмотки выходного трансформатора.

Для преобразования выходного сигнала переменного тока в постоянный служит двухполупериодный преобразователь на транзисторах T_7, T_9 и T_8, T_{10}.

Между базами и коллекторами выходных преобразователей подается переменное переключающее напряжение той же частоты и амплитуды, что и на входной преобразователь. Принцип работы ключевого демодулятора аналогичен принципу работы входного преобразователя.

Для уменьшения шумов входного преобразователя и повышения стабильности весь усилитель охвачен отрицательной обратной связью по постоянному току при помощи цепочки из сопротивлений R_{24}, R_{25} и конденсатора C_7.

Максимальное выходное напряжение, развиваемое на нагрузке, равно 5 *в*. Коэффициент усиления при этом равен 5000.

В заключение следует сказать, что для простых измерительных задач, не требующих высокой точности, можно использовать усилители постоянного тока с прямым усилением сигнала, которые по своей экономичности, надежности и малым габаритам лучше усилителей на электронных лампах. Но для более сложных задач, при решении которых такие свойства, как экономичность, малые размеры, стабильность тепловых режимов и надежность, приобретают особое значение, следует применять еще более совершенные схемы усилителей постоянного тока — с преобразованием сигнала.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ НА ТРАНЗИСТОРАХ

При проектировании и конструировании различных электронных устройств требуются избирательные усилители как низкой, так и высокой частоты.

В настоящей главе описаны схемы усилителей, избирательность которых достигается благодаря применению резонансных контуров, избирательных обратных связей и избирательных Т-образных фильтров типа *RC*.

Простейшие избирательные усилители

На рис. 23 показана схема избирательного усилителя низкой частоты [Л. 11]. Усилитель собран на двух транзисторах T_1 и T_2. Коэффициент усиления — порядка 100. Входной сигнал от 1 до 30 *мв* усиливается без искаже-

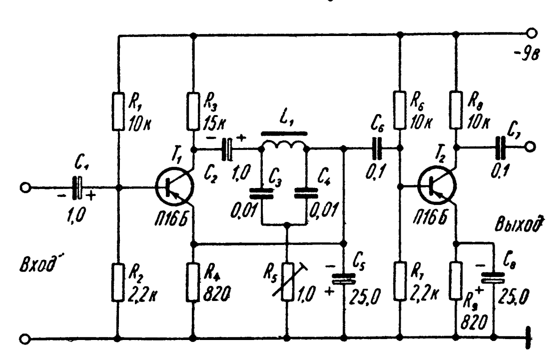


Рис. 23. Избирательный УНЧ.

ний. Избирательность усилителя достигается тем, что в цепь обратной связи включен П-образный *LC*-фильтр, состоящий из катушки индуктивности L_1 и конденсатора C_3 и C_4.

Входной сигнал низкой частоты через конденсатор C_1 поступает на базу транзистора T_1. В целях максимального усиления оба каскада усилителя выполнены по схеме с общим эмиттером. Термостабилизация обеспечена тем, что в цепи баз включены делители, состоящие из сопротив-

лений R_1, R_2 и R_6, R_7, а в цепи эмиттеров — ячейки отрицательной обратной связи R_4, C_5 и R_9, C_8.

Через П-образный фильтр отрицательная обратная связь поступает с коллектора транзистора T_1 на его эмиттер. Так как фильтр относится к резонансному типу, то усиливается только резонансная частота, все же остальные частоты ослабляются. Для регулировки полосы пропускания используют сопротивление R_5. Катушкой индуктивности L_1 могут служить тороидальные ферритовые

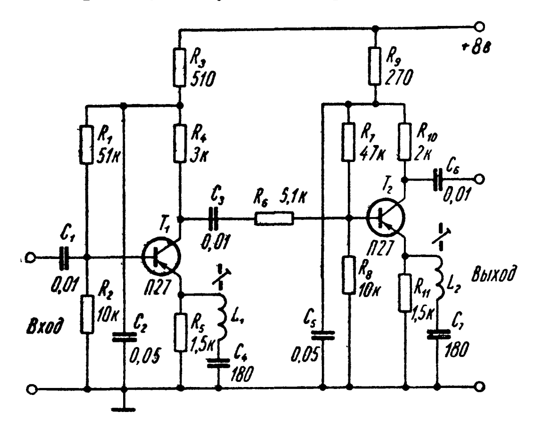


Рис. 24. УПЧ без нейтрализации.

сердечники. Для частоты 1 *кгц* индуктивность должна быть порядка 5 *гн*.

Избирательность усилителя невысока. При указанных параметрах на схеме изменение частоты на $\pm 5\%$ вызывает ослабление сигнала в 5 раз. Напряжение питания, составляющее 9 *в*, можно изменять на $\pm 0{,}5$ *в* без заметного влияния на работу схемы. Потребляемый схемой ток не превышает 4 *ма*.

На рис. 24 изображена схема усилителя промежуточной частоты без нейтрализации [Л. 18]. Коэффициент усиления схемы — порядка 400—500. Входной сигнал до 10 *мв* усиливается без искажений. Промежуточная частота зависит от параметров контуров L_1 — C_4 и L_2 — C_7 и равна 450—470 *кгц* при полосе пропускания 6 *кгц*. Схема устойчиво работает до температуры $+40°$ С. Потребляемый ток не превышает 2,5 *ма*.

Избирательность схемы обеспечена тем, что в эмиттерные цепи транзисторов введены последовательные резонансные контуры. В каждом каскаде появляется частотно-зависимая отрицательная обратная связь. В результате каскад усиливает только частоту резонанса контура, ослабляя все другие частоты. Настройка контуров на резонансную частоту, близкую к 465 *кгц*, осуществляется с помощью сердечников катушек.

В качестве сердечников использованы броневые горшкообразные сердечники типа СБ-Ф с подстроечником. Катушки L_1 и L_2 намотаны проводом ПЭВ-2 диаметром 0,2 *мм* и имеют по 60 витков каждая. Для грубой настройки контуров в резонанс служат конденсаторы C_4 и C_7. При увеличении значения конденсаторов коэффициент усиления усилителя увеличивается, но полоса пропускания становится шире. Рабочая точка транзисторов определяется сопротивлениями R_1 и R_7.

Чтобы предотвратить самовозбуждение усилителя по цепи питания, в схему включены развязывающие цепочки R_3 — C_2 и R_9 — C_5. Уменьшению влияния второго каскада на первый способствует сопротивление R_6, включенное последовательно с конденсатором C_3.

Принципиально усилитель можно настроить на любую другую частоту от десятков до сотен килогерц. Для этого необходимо подобрать соответствующее реактивное сопротивление контура. Настройка усилителя не встречает затруднений. Его можно использовать как избирательный усилитель для самых разнообразных целей.

На рис. 25 приведена принципиальная схема усилителя промежуточной частоты на кремниевых транзисторах [Л. 11]. Хотя усилитель выполнен без нейтрализации, но при отклонении температуры на $\pm 20°$ С от нормальной он не проявляет склонности к возбуждению. Промежуточная частота составляет 465 *кгц*, а полоса пропускания равна 5—6 *кгц*. Коэффициент усиления — порядка 600. Максимальное напряжение на входе не должно превышать 15 *мв*. Потребляемый ток не более 10 *ма*. При изменении напряжения питания на ± 2 *в* усилитель сохраняет работоспособность.

В трансформаторах $Тр_1$, $Тр_2$ и $Тр_3$ применены сердечники СБ-1а. Все три трансформатора могут иметь одинаковые намоточные данные: обмотка с отводом 170 витков выполнена проводом ПЭВ-1 диаметром 0,1 *мм*, отвод

от 70-го витка — со стороны заземленного конца; вторая обмотка (без отвода) содержит 20 витков того же провода, но диаметром 0,2 *мм*.

Усилитель обладает трансформаторными связями между каскадами, что позволяет согласовывать входное и выходное сопротивления каскадов. Чтобы повысить стабильность режимов транзисторов, в цепи баз включены делители из сопротивлений R_1, R_2 и R_5, R_6. В эмиттеры транзисторов включены сопротивления R_3 и R_7, в результате чего оба каскада охвачены отрицательной обратной

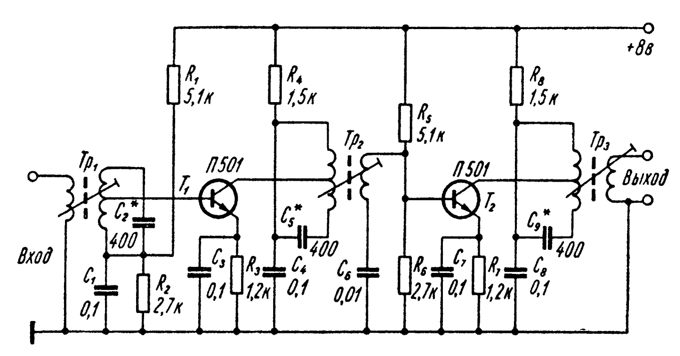


Рис. 25. УПЧ на кремниевых транзисторах.

связью по постоянному току. Параллельно сопротивлениям включены конденсаторы C_3 и C_7. Настройка всех трех контурных трансформаторов в резонанс осуществляется с помощью конденсаторов C_2, C_5 и C_9. Для более точной подстройки пользуются сердечниками трансформаторов.

Чтобы получить коэффициент усиления, превышающий 1000, надо вместо сердечников СБ-1а применить сердечники СБ-Ф, что значительно уменьшит емкость подстроечных конденсаторов C_2, C_5 и C_9. В случае возбуждения усилителя можно включить конденсатор на 20—30 *пф* между базой и коллектором первого транзистора; коэффициент усиления упадет на 10%, но устойчивость работы не снизится. Чтобы повысить ее, можно включить конденсатор на 200 *пф* между базой транзистора T_2 и эмиттером транзистора T_1. Это увеличит коэффициент усиления примерно на 20% и улучшит избирательность.

Для развязки по цепи питания в коллектор каждого из транзисторов включены ячейки RC-фильтров: R_4 — C_4 и R_8 — C_8. Уменьшая величины этих сопротивлений и увеличивая емкость конденсаторов, можно повысить коэффициент усиления еще примерно на 10%. Если усилитель работает при нормальной температуре, то с помощью перечисленных мер можно, пренебрегая требованиями стабильности работы, довести коэффициент усиления до 3000—4000.

Поиски высокой избирательности схем на транзисторах в звуковом диапазоне могут привести к определенным трудностям в изготовлении. Между тем усложнение схемы, а следовательно, и увеличение числа ее элементов, приводит к понижению надежности и ухудшению стабильности.

В качестве наиболее простой схемы с высокой избирательностью и стабильностью назовем схему умножения добротности, представленную на рис. 26 [Л. 19].

При номиналах, указанных на схеме, резонансная частота контура L_1—C_3 равна 10 *кгц*. В случае подачи на вход 1 *мв* от генератора ЗГ-12 сигнал на выходе достигает 1 *в*; сопротивление нагрузки при этом должно быть не менее 5 *ком*.

С изменением частоты на 1% выходное напряжение уменьшается до 200 *мв*, а с изменением на 2% — до 20—30 *мв*.

Схема проверена и на частотах 15 и 20 *кгц*. Изменение резонансной частоты достигается изменением емкости конденсатора C_3:

Емкость C_3, *пф*	Частота, *кгц*
600	15
300	20

Схема устойчиво работает при изменении питающего напряжения в пределах ±1,5 *в*.

При настройке схемы конденсатор C_3 заменяют магазином емкостей, а сопротивление R_4 — переменным сопротивлением 5 *ком*. Сопротивлением R_4 регулируют избирательность каскада.

Величину сопротивления выбирают практическим путем, руководствуясь стремлением обеспечить максимально требуемую избирательность и вместе с тем исключить

возможность возникновения генерации. При закороченном входе и без каких-либо мер по экранировке шумы схемы составляют 10—20 *мкв*.

Катушка L_1 намотана на кольце 10,5 × 6 × 5 *мм* из феррита М-2000. Обмотки, содержащие по 300 витков провода ПЭВ-1 диаметром 0,1 *мм*, соединены последовательно. При изменении входного сигнала от 0,1 до 3 *мв* выходной сигнал имеет чисто синусоидальную форму.

Температурные влияния на схему были проверены в диапазоне от 20 до 40° С; отмечено изменение выход-

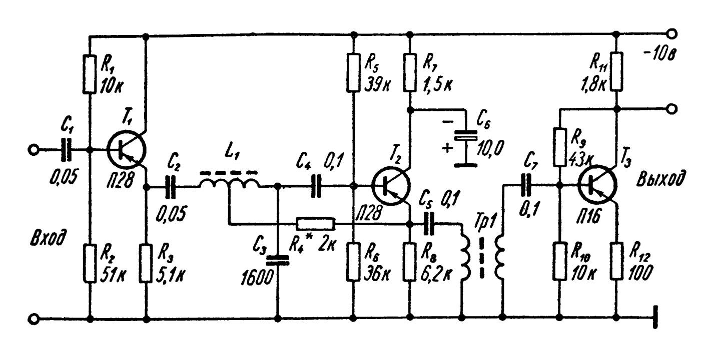


Рис. 26. Умножитель добротности.

ного напряжения на 4%, но избирательность схемы не ухудшилась. Соответствующее изменение параметров контура L_1—C_3 не отражается на равномерности частотной характеристики схемы в интервале от 5 до 100 *кгц*.

Чтобы согласовать входное сопротивление схемы усилителя с входным сопротивлением избирательного каскада на транзисторе T_2, включен эмиттерный повторитель на транзисторе T_1. Третий каскад в виде усилителя напряжения на транзисторе T_3 выполнен по схеме с общим эмиттером. В цепи баз всех транзисторов включены делители из сопротивлений: R_1, R_2; R_5, R_6; R_9, R_{10}; это сделано для стабилизации режимов. Третий каскад на транзисторе T_3 охвачен отрицательной обратной связью по переменному току; это достигнуто включением сопротивления R_{12} в цепь эмиттера.

Узкополосность схемы обеспечена подачей положительной обратной связи с сопротивления R_8 через сопротивление R_4 на базу транзистора T_2. Трансформатор Tp_1

служит для согласования второго каскада с третьим. По своим данным трансформатор аналогичен катушке L_1.

Таким образом, схему умножения добротности, приведенную на рис. 26, можно при проектировании и построении узкополосных усилителей в звуковом диапазоне использовать как входной избирательный усилитель. Схема отличается высокой избирательностью и простотой.

В некоторых случаях, в частности при применении ультразвука, нужны избирательные усилители в диапазоне частот от 40 до 100 *кгц*. Один из таких усилителей показан на рис. 27 [Л. 11].

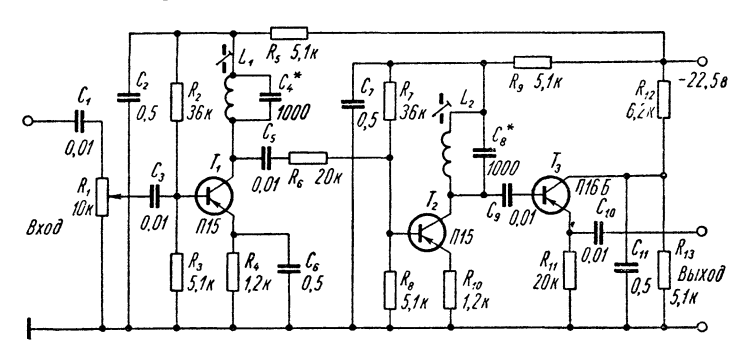


Рис. 27. Усилитель на 40—100 *кгц*

Усилитель выполнен на трех транзисторах. Два первых каскада — усилительные. Резонансные контуры включены непосредственно в цепи коллекторов транзисторов T_1 и T_2. Катушки контуров L_1 и L_2 помещены в броневые горшкообразные сердечники типа СБ-1а. Каждая катушка имеет по 500 витков провода ПЭЛ диаметром 0,1 *мм*. Оконечный каскад — эмиттерный повторитель.

Коэффициент усиления усилителя — около 400—600. Входное напряжение от 0,1 до 10 *мв* усиливается без искажений. При замкнутом входе шумы на выходе не превышают 0,1 *мв*. Входное сопротивление — около 1 *ком*, выходное — 20 *ком*. Потребляемый схемой ток не превышает 6 *ма*. Схема остается работоспособной при изменении напряжения питания на $\pm 10\%$.

Напряжение сигнала, поступающее на вход усилителя, можно регулировать сопротивлением R_1. Нужной избирательности и усиления добиваются настройкой кон-

туров в резонанс на выбранную частоту. Точную настройку осуществляют подвижным сердечником. Первый каскад на транзисторе T_1 охвачен отрицательной обратной связью по постоянному току; это обеспечено включением в цепь эмиттера сопротивления R_4, заблокированного конденсатором C_6. Чтобы увеличить входное сопротивление, второй каскад на транзисторе T_2 охвачен отрицательной обратной связью и по переменному току, так как сопротивление в цепи эмиттера не заблокировано конденсатором. С этой же целью последовательно с конденсатором C_5 включено сопротивление R_6. Для стабилизации рабочих точек транзисторов T_1 и T_2 в цепи баз включены делители из сопротивлений R_2, R_3 и R_7, R_8.

Для уменьшения влияния шумов через источники питания в коллекторы транзисторов T_1 и T_2 включены развязывающие фильтры R_5—C_2 и R_9—C_7. Напряжение питания на оконечный каскад поступает с делителя, состоящего из сопротивлений R_{12} и R_{13}. Сопротивление R_{12} совместно с конденсатором C_{11} выполняет также роль развязывающего фильтра по цепи питания. Напряжение выхода снимается с сопротивления R_{11} через конденсатор C_{10}.

Следует отметить, что в схеме, помимо указанных, можно применить и транзисторы типов П13, П14 и др. При настройке усилителя в целом следует не только отрегулировать контуры, но и подобрать величины сопротивлений R_3 и R_8. Эти величины выбирают с таким расчетом, чтобы в заданном диапазоне входных напряжений усилитель работал без искажений.

Низкочастотный избирательный милливольтметр

При измерении шумов, вибрации и других низкочастотных параметров часто возникает необходимость регистрации спектрального распределения сигнала. Построить транзисторный прибор для измерения спектрального распределения низкочастотных сигналов, обладающий плавной перестройкой, — дело очень сложное. Поэтому допустимо дискретно настраивать прибор на заданную частоту при помощи переключателя частоты.

На рис. 28 приведена схема избирательного милливольтметра низкой частоты [Л. 12]. Входное сопротивление прибора на любом диапазоне остается постоянным

(около 0,5 *Мом*). Измеряемые частоты: 400, 1000, 2000, 3000 и 5000 *гц*. Пределы измерения: 0—10, 0—30, 0—100, 0—300, 0—1000 *мв*. Питание прибора осуществляется от батарей напряжением 22,5 *в* ± 5%. Потребляемый ток не превышает 10 *ма*. Погрешность измерения напряжения составляет ±3%.

Схема прибора состоит из делителя входного напряжения, усилителя, избирательного усилительного каскада и выходного каскада с регистратором.

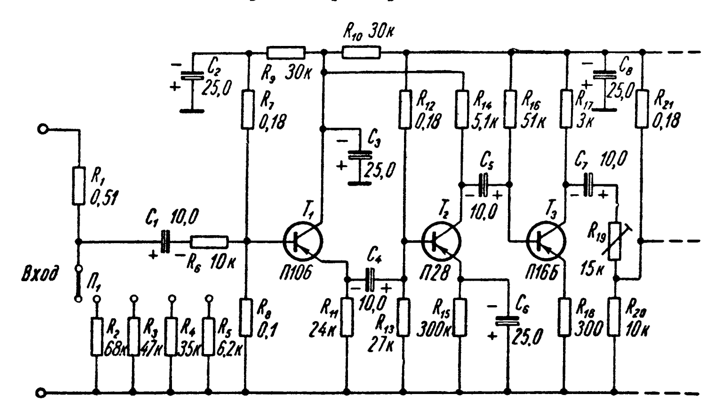
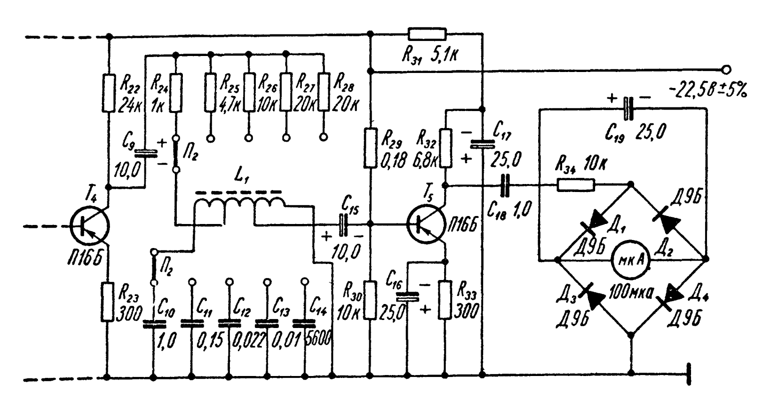


Рис. 28. Избиратель

Входной сигнал поступает на делитель напряжения, который состоит из сопротивления R_1 и магазина сопротивлений R_2—R_5, переключаемого с помощью переключателя $П_1$. Расширение диапазона измерений можно обеспечить, заменив переключатель $П_1$, имеющий 5 положений, переключателем на 11 положений и введя новые сопротивления в магазин.

Сигнал с делителя через конденсатор C_1 и сопротивление R_6 поступает на базу эмиттерного повторителя, выполненного на транзисторе T_1. Уменьшению шумов и увеличению входного сопротивления способствует то, что эмиттерный повторитель собран на кремниевом транзисторе типа П106 с пониженным напряжением питания. Это понижение напряжения осуществляется сопротивлением R_{10}, включенным на землю через конденсатор C_3. В цепь базы транзистора T_1 включен делитель из сопротивлений R_7—R_9, причем для уменьшения шумов сопро-

тивление R_9 также соединено с землей через конденсатор C_2. Сигнал с нагрузки эмиттерного повторителя сопротивления R_{11} поступает через конденсатор C_4 на двухкаскадный усилитель напряжения, построенный на транзисторах T_2 и T_3 по схеме с заземленным эмиттером. В первый каскад усилителя включен малошумящий, но обладающий большим коэффициентом усиления транзистор T_2 типа П28, охваченный отрицательной обратной связью по постоянному току.



ный милливольтметр.

Отрицательная обратная связь создается на сопротивлении R_{15}, включенном в цепь эмиттера транзистора T_2. Питание каскада осуществляется также пониженным напряжением из общей точки с эмиттерным повторителем. Напряжение питания — около 8—10 *в*. Для стабилизации рабочей точки транзистора T_2 в цепь базы включен делитель, состоящий из сопротивлений R_{12} и R_{13}. К делителю приложено все напряжение батареи.

Второй каскад усилителя собран на транзисторе T_3 и имеет отрицательную обратную связь по переменному току (сопротивление R_{18} не шунтируется конденсатором).

Усиленный сигнал с коллекторной нагрузки транзистора T_3 и сопротивления R_{17} через конденсатор C_7 и переменное сопротивление R_{19} подается на базу избирательного каскада, собранного на транзисторе T_4. Каскад также охвачен отрицательной обратной связью по переменному току ввиду включения в цепь эмиттера сопротив-

ления R_{23}. В цепь коллектора включен параллельный избирательный контур (через конденсатор C_9), состоящий из катушки L_1 и одного из конденсаторов C_{10}—C_{14}. Для предотвращения возбуждения катушка L_1 сделана с отводами и подключена к коллектору транзистора T_4 и к базе транзистора T_5 не полностью, а лишь средней частью.

На измеряемой частоте, выбираемой переключателем $П_2$, контур настраивается в резонанс одним из конденсаторов C_{10}—C_{14}. Переключатель $П_2$ состоит из двух плат. Вторая плата переключателя подключает балластные сопротивления R_{24}—R_{28} в цепь контура для выравнивания усиления на отдельных частотах. Переменным сопротивлением R_{19} на входе каскада производят подстройку при калибровке шкалы по напряжению. Избирательность данного одиночного контура зависит от его добротности и в данном случае не очень высока, что является недостатком прибора.

Сигнал с резонансной частотой контура поступает на оконечный усилитель, выполненный на транзисторе T_5. Оконечный усилитель аналогичен по схеме входному каскаду на транзисторе T_2. Чтобы избежать влияния положительной обратной связи с выхода прибора на вход через цепь питания, в коллектор транзистора T_5 включен развязывающий фильтр из сопротивления R_{31} и конденсатора C_{17}.

Регистратором служит микроамперметр, включенный в схему мостового выпрямителя на диодах Д9Б. Сигнал на мост поступает с коллектора транзистора T_5 через конденсатор C_{18} и сопротивление R_{34}.

При настройке милливольтметра сопротивления R_{24}—R_{28} рекомендуется сделать переменными. Переключатель $П_2$ надо взять на 11 положений — это расширит количество фиксированных частот и не усложнит схему. Для катушки можно использовать ферритовый тороидальный сердечник с индуктивностью 4—5 *гн*. Отводов лучше всего сделать не два, а четыре-пять. Номиналы конденсаторов C_{10}—C_{14} могут отличаться от указанных на схеме, поэтому при настройке фиксированной частоты удобно использовать магазин емкостей.

При настройке входного делителя также можно использовать переменные сопротивления, но в этом случае корпуса сопротивлений необходимо заземлить, а провода

от генератора сделать короче и экранировать. Прежде чем настраивать входной делитель, нужно получить максимальное усиление от схемы, необходимое для работы регистрирующего прибора. Если усиления недостаточно, то можно уменьшить величины эмиттерных сопротивлений в третьем и четвертом каскадах.

Избирательные усилители с *RC*-фильтрами

При измерениях на низких частотах использование фильтров типа *LC* нежелательно, так как увеличивает габариты транзисторной аппаратуры, вносит искажения и усложняет изготовление; к тому же добротность таких фильтров невелика. Применение же *RC*-фильтров на низких частотах, вплоть до единиц герц, на радиолампах не вызывает затруднений. Включение *RC*-фильтров

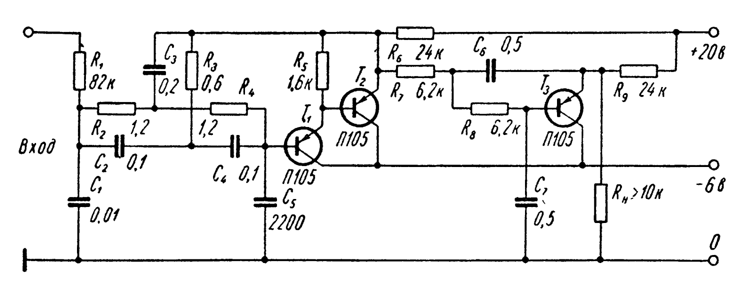


Рис. 29. Схема, ослабляющая напряжение с частотой сети.

в транзисторные схемы несомненно дает положительный эффект, и если оно еще не получило широкого распространения, то лишь из-за трудностей согласования каскадов и малого опыта в этой области. Ниже рассмотрены схемы избирательных транзисторных усилителей с использованием *RC*-фильтров типа двойного Т-образного моста.

На рис. 29 показана схема низкочастотного транзисторного усилителя, ослабляющая напряжение сигнала с частотой 50 *гц* [Л. 20]. Схему используют при измерении напряжения частоты от 2 до 40 *гц*. Измерения напряжения такой низкой частоты встречаются в биофизике, медицине, сейсмической разведке и других областях науки и техники. Большие помехи в измерения вносятся при этом напряжением промышленной сети с частотой 50 *гц*.

Напряжение сигнала поступает через сопротивление R_1 на двойной Т-образный мост, который состоит из сопротивлений R_2—R_4 и конденсаторов C_2—C_4. Двойной Т-образный фильтр выполняет заграждающую роль и настроен на частоту 50 *гц*. Поэтому напряжение с частотами до 50 *гц* проходит через фильтр с минимальным ослаблением. Напряжение с частотой 50 *гц* ослабляется примерно в 100 раз. Частоты выше 50 *гц* также ослабляются, но в несколько раз меньше. Чтобы фильтр был согласован с усилителем, последний должен обладать повышенным входным сопротивлением. Для этой цели включают пару транзисторов T_1 и T_2 по схеме составного транзистора; они работают на эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе T_3. Для уменьшения фазовых искажений в схему введены конденсаторы C_6 и C_7. Сопротивления R_7 и R_8 уменьшают влияние нагрузки на входной каскад. Сопротивление нагрузки $R_н$ должно быть не меньше 10 *ком*, так как в противном случае оно будет влиять на схему и вносить дополнительные искажения. Необходимо отметить влияние емкости конденсатора C_5 на работу схемы: при увеличении этой емкости амплитудная характеристика схемы улучшается, а фазовая — ухудшается; и, наоборот, при уменьшении емкости фазовая характеристика улучшается, а амплитудная — ухудшается. В схеме отсутствуют стабилизирующие элементы и поэтому ее не следует подвергать температурному воздействию. При настройке схемы наиболее тщательного подбора требуют плечи фильтра R_2—R_4 и C_2—C_4. Коэффициент передачи схемы составляет около единицы. Напряжение, подаваемое на вход и равное от 1 *мв* до 4 *в*, воспроизводится без существенных искажений. Недостатком схемы является наличие двух источников питания.

На рис. 30 приведена схема избирательного усилителя на 400 *гц* [Л. 21]. Параметры схемы: полоса пропускания — от 10 до 20 *гц*, коэффициент усиления — от 2 до 3, добротность — от 150 до 200, неискаженное напряжение на выходе — не более 2 *в*. Усилитель можно использовать в качестве промежуточного, а это означает, что прежде, чем применить его в схеме какого-либо прибора, необходимо ввести входные и выходные каскады с дополнительным усилением. Высокая избирательность усиления обеспечена применением двойного Т-образного моста.

Входной сигнал поступает на базу эмиттерного повторителя на транзисторе T_1. К сопротивлению R_4 подключены несимметричные плечи фильтра. Симметричные плечи фильтра, состоящие из сопротивлений R_7, R_{11}, R_{14} и конденсаторов C_2—C_6, соединены с входом эмиттерного повторителя на транзисторе T_2 и выходом эмиттерного повторителя на транзисторе T_4. Между эмиттерными повторителями включен усилительный каскад на

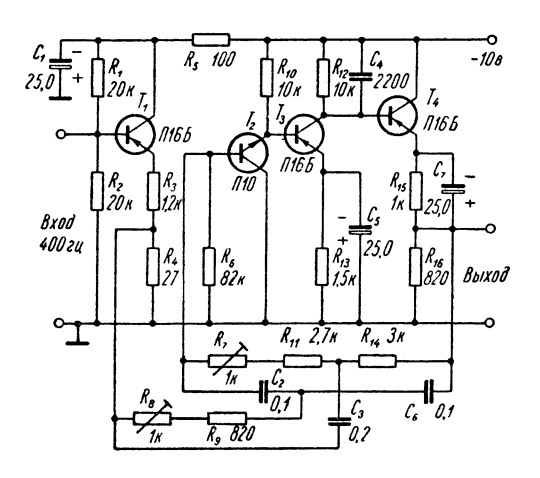


Рис. 30. Избирательный усилитель на 400 *гц*.

транзисторе T_3, собранный по схеме с общим эмиттером. Включение эмиттерных повторителей необходимо для согласования входных и выходных сопротивлений каскадов и фильтра, а наличие усилительного каскада делает фильтр активным элементом.

Каскады на транзисторах T_2—T_4 соединены между собой непосредственно. Такое соединение упрощает схему, а отрицательные обратные связи в каждом каскаде стабилизируют режим в целом. Включение двойного Т-образного моста без заземления встречается довольно редко, но в данной схеме нужно именно такое включение — оно обеспечивает высокую избирательность и отсутствие генерации при сохранении остальных параметров.

Настройка схемы производится переменными сопротивлениями R_7 и R_8 при подаче на вход напряжения от

генератора. В процессе настройки необходимо следить за отсутствием генерации.

Усилитель можно настроить и на другие частоты, для чего нужно изменить параметры двойного Т-образного моста. При изменении напряжения питания на ±1 *в* резонансная частота уходит на ±3 *гц*. Потребляемый схемой ток не превышает 5 *ма*.

Рассмотренные схемы (рис. 29 и 30) нельзя считать законченными усилителями, так как самостоятельно они вряд ли смогут найти применение. Точнее было бы обе схемы назвать активными *RC*-фильтрами.

Включение простых и малогабаритных активных фильтров в схемы позволяет решать большой круг вопросов, связанных с амплитудно-частотными измерениями напряжения сигналов низкой частоты.

Избирательный низкочастотный микровольтметр с большим входным сопротивлением

На рис. 31 представлена схема низкочастотного избирательного микровольтметра с высоким входным со-

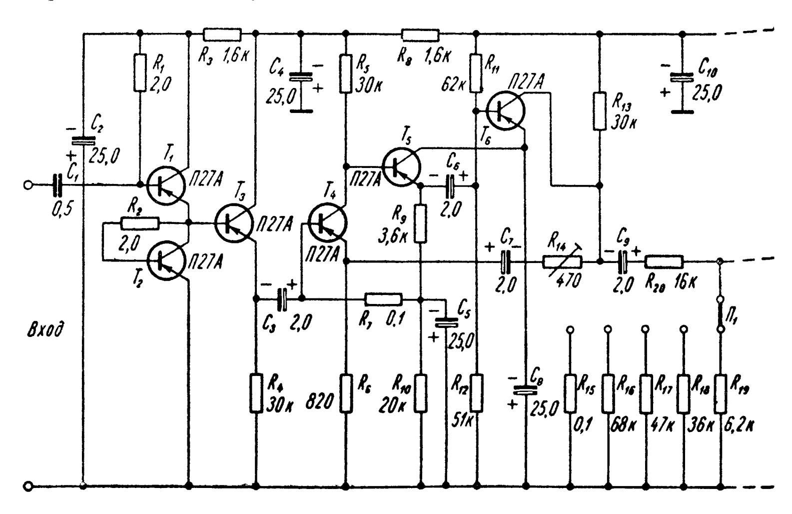
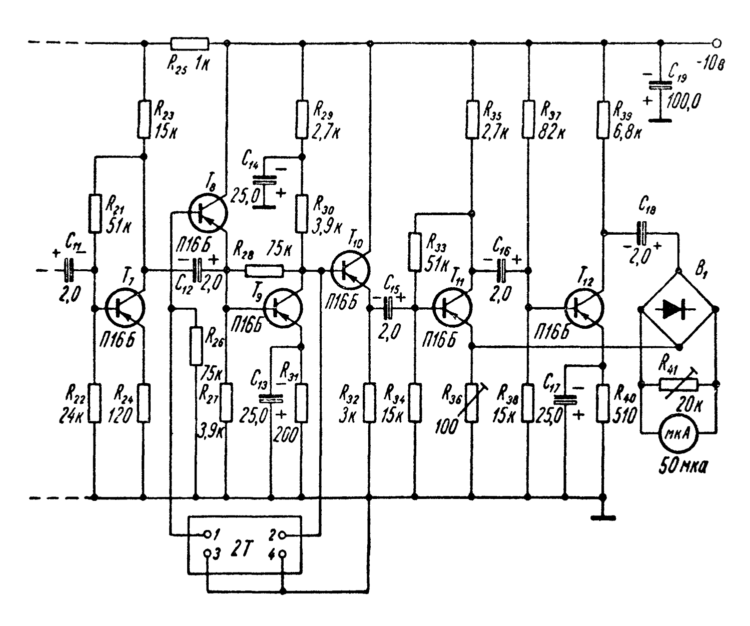


Рис. 31. Низкочастотный избирательный микро

противлением (порядка 3 *Мом*). Измеряемый диапазон напряжений разбит на 5 поддиапазонов: от 3 *мкв* до 10, 30, 100, 300 и 1000 *мкв*. Рабочие частоты микровольтметра: 240, 400, 500, 1000 и 2000 *гц*. Полоса пропускания равна 2—3% от номинального значения измеряемой частоты. Эквивалентная добротность составляет примерно 60. Напряжение питания электрической схемы — порядка 10 *в*, потребляемый ток не превышает 15 *ма*. Уровень шумов на выходе доходит до 2—3 *мкв*.

Основная погрешность измерений — до ±3% от верхнего предела поддиапазона. Изменение температуры окружающего воздуха на ±20° С вызывает дополнительную погрешность в ±2%. Эти величины погрешности получены при поддержании напряжения питания в пределах ±2%. Поэтому для высокоточных измерений схема прибора нуждается в стабилизации напряжения питания. Этой цели отвечает кремниевый стабилитрон Д810. Если увеличивать расходный ток нежелательно, то контролировать напряжение питания можно периодически, с помощью дополнительного переключателя, регулируя



вольтметр с высоким входным сопротивлением.

последний по мере необходимости добавочным переменным сопротивлением.

Малая величина динамического диапазона схемы (от 3 *мкв* до 1 *мв*) не является недостатком. При измерении напряжений, превышающих 1 *мв*, можно в случае необходимости включить на входе делитель или переключатель добавочных сопротивлений. В этом случае прибор используется как избирательный вольтметр.

Возможности прибора не ограничены измерением низких частот. Достаточно, например, включить на входе детектор, чтобы измерять частоту и глубину модуляции высокочастотной составляющей. Если заграждающий фильтр заменить эквивалентным сопротивлением 60—100 *ком*, то прибор превратится в микровольтметр с плоской амплитудно-частотной характеристикой в диапазоне от 100 *гц* до 20 *кгц*.

Схема прибора состоит из предварительного усилителя с высоким входным сопротивлением на транзисторах T_1—T_6, переключателя поддиапазонов $П_1$; избирательного усилителя на транзисторах T_7—T_{10} со сменным заграждающим фильтром типа 2Т и оконечного усилителя на транзисторах T_{11}—T_{12} с регистрирующим микроамперметром.

Предварительный усилитель служит для получения высокого входного сопротивления и для усиления слабых сигналов с минимальным уровнем шумов.

Высокое входное сопротивление достигнуто включением сложного эмиттерного повторителя на транзисторах T_1—T_3 [Л. 22]. Транзистор T_2 включен для температурной компенсации, его параметры надо подбирать в комплекте с транзистором T_1.

Наличие 100%-ной отрицательной обратной связи, охватывающей сложный эмиттерный повторитель, обеспечивает необходимую стабильность и высокое входное сопротивление. Коэффициент передачи сложного каскада по напряжению — порядка 0,96—0,97.

В предварительном усилителе применены транзисторы типа П27А или П28 с коэффициентом шума менее 5 *дб*. Благодаря этому шумы, приведенные ко входу, не превышают 1 *мкв*. Чтобы уменьшить напряжение шумов, в коллектор транзистора T_1 включен развязывающий фильтр по цепи питания из сопротивления R_3 и конденсатора C_2. Транзисторы T_1—T_3 соединены между собой

непосредственно по постоянному току, без дополнительных элементов, увеличивающих напряжение шумов. Усилитель напряжения предварительного усилителя собран на транзисторах T_4—T_6 [Л. 23].

Сигнал на усилитель поступает с сопротивления R_4 нагрузки эмиттерного повторителя. Каскад усилителя напряжения на транзисторе T_4 собран по схеме с общим эмиттером и соединен непосредственно по постоянному току с эмиттерным повторителем на транзисторе T_5. Коллекторное напряжение на транзистор T_5 поступает через последовательно включенный транзистор T_6, а конденсатор C_8 служит для развязки по переменной составляющей.

Усилитель напряжения на транзисторе T_6 собран по схеме с общим эмиттером; его нагрузка — сопротивления делителя R_{15}—R_{19}.

Для стабильной работы трехкаскадный усилитель на транзисторах T_4—T_6 охвачен комбинированными обратными связями. С сопротивления R_{10} (части эмиттерной нагрузки) эмиттерного повторителя отрицательная обратная связь по постоянному току подается на базу транзистора T_4. Последовательное включение транзисгоров T_5 и T_6 стабилизирует режим транзистора T_6, так как транзистор T_5 выполняет роль сопротивления обратной связи по постоянному току.

Отрицательная обратная связь по переменному току поступает с выхода усилителя на его вход (коллектор T_6, сопротивление R_{14}, конденсатор C_7, эмиттер T_4). Регулировка отрицательной обратной связи производится переменным сопротивлением R_{14}. Для фиксации рабочей точки транзистора T_6 служит делитель из сопротивлений R_{11} и R_{12}.

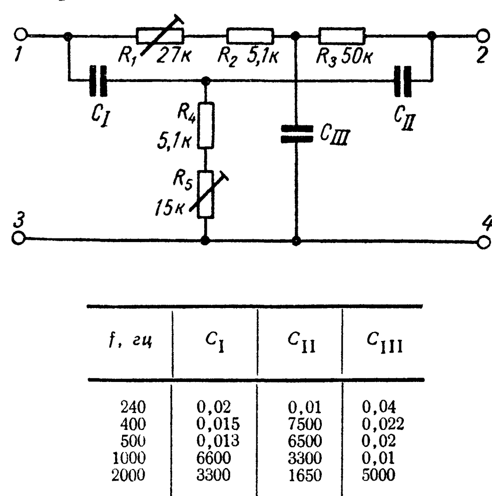
Наличие отрицательных обратных связей обеспечивает стабильную работу, линейную частотную характеристику и низкое выходное сопротивление предварительного усилителя.

Чтобы уменьшить шумы и предотвратить возбуждение, усилитель питают через развязывающие фильтры из сопротивлений R_8, R_{25} и конденсаторов C_4, C_{10}. Коэффициент усиления предварительного усилителя по напряжению, равный примерно 800—900, регулируется сопротивлением обратной связи R_{14}.

На вход избирательного усилителя (база транзистора T_7) сигнал поступает с делителя напряжений, переключаемого переключателем $П_1$.

Избирательный усилитель собран на транзисторах T_7—T_{10} и имеет сменный заграждающий фильтр типа двойного T-образного моста (2Т) [Л. 24].

Первый каскад избирательного усилителя на транзисторе T_7 служит усилителем напряжения. Для стабилизации он имеет отрицательные обратные связи по току и напряжению, обеспечиваемые включением сопротивлений R_{21} и R_{24}.



f, гц	C_I	C_{II}	C_{III}
240	0,02	0,01	0,04
400	0,015	7500	0,022
500	0,013	6500	0,02
1000	6600	3300	0,01
2000	3300	1650	5000

Рис. 32. Двойный Т-образный мост и номиналы конденсаторов для различных частот.

Усиленный по напряжению сигнал попадает на базу транзистора T_9, на котором также собран усилитель напряжения. Этот каскад охвачен отрицательной обратной связью по постоянному току. С коллектора транзистора T_9 напряжение сигнала подается на базу эмиттерного повторителя, собранного на транзисторе T_{10}. С эмиттера транзистора T_{10} напряжение сигнала поступает на оконечный усилитель.

Несимметричный двойной T-образный фильтр подключен к базе согласующего эмиттерного повторителя на транзисторе T_8 и к базе эмиттерного повторителя на транзисторе T_{10}. Таким образом, получается частотно-зависимая обратная связь. Поэтому микровольтметр усиливает только напряжение сигнала с частотой, на которую настроен

фильтр. На рис. 32 показана схема двойного T-образного фильтра (2Т) и приведены номиналы конденсаторов для различных частот. Конструктивно фильтр лучше делать сменным на разъеме от ламповой панели. Возможен вариант использования переключателя, но это резко увеличивает габариты прибора.

Оконечный усилитель (см. рис. 31) собран на двух транзисторах T_{11} и T_{12}, включенных по схеме с общим эмиттером. Регистрирующим прибором служит микроамперметр. Параллельно микроамперметру включено переменное сопротивление R_{41} для шунтирования прибора при очень большом усилении схемы.

Оконечный усилитель охвачен не только местными обратными связями, но и общей отрицательной обратной связью с коллектора транзистора T_{12} на эмиттер транзистора T_{11} через выпрямительный мост B_1. В качестве выпрямительных элементов в схеме моста можно использовать германиевые диоды типа Д2, Д7, Д9 с буквенными индексами. В заключение следует заметить, что микровольтметр можно настроить и на другие частоты, отличные от указанных. Для этого достаточно изменить соответствующим образом конденсаторы фильтра.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ИМПУЛЬСНЫЕ ТРАНЗИСТОРНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Импульсные методы работы применяются в электронных вычислительных машинах, ядерной физике, телевидении, радиолокации, радионавигации, автоматике и связи.

Почти при всех преобразованиях импульсов их надо предварительно усиливать без искажений до достаточной величины. Для усиления слабых импульсных сигналов нужны не простые линейные усилители, а такие, которые обладают входными характеристиками для согласования схемы с датчиками импульсов и выходными — для работы с различными счетными и измерительными схемами. Импульсные усилители на транзисторах должны обладать помимо достоинств, присущих всем схемам на транзисторах, еще и повышенной стабильностью и высокой разре-

шающей способностью. Такие усилители не должны сколько-нибудь значительно уступать по параметрам своим ламповым аналогам.

Предварительные усилители

На рис. 33 представлена схема предварительного усилителя на трех транзисторах с высоким входным сопротивлением. Коэффициент усиления усилителя немногим больше единицы, поэтому практически такой усилитель может служить для согласования с фотоумножителями, газоразрядными счетчиками и пьезоэлементами и для пе-

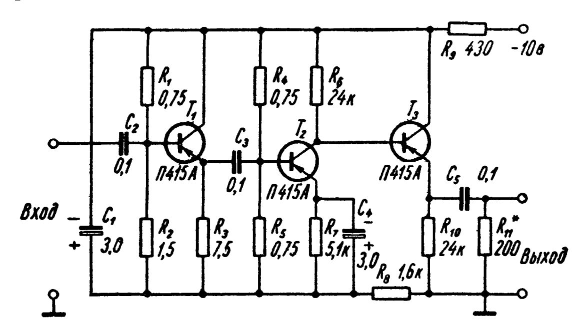


Рис. 33. Предусилитель с высоким входным сопротивлением.

редачи сигнала по коаксиальному кабелю на линейный усилитель. Нелинейность амплитудной характеристики в диапазоне от 0,5 до 200 *мв* входного сигнала не превышает $\pm 1\%$. Динамический диапазон входных напряжений — от 0,5 *мв* до 3 *в*, искажения при этом составляют $\pm 5\%$. Входное сопротивление усилителя — порядка 5 *Мом*. Разрешающее время при этом не хуже 1 *мксек*. При изменении окружающей температуры на $\pm 20°$ С дополнительная погрешность достигает $\pm 5\%$. Питание схемы осуществляется напряжением 10 *в* $\pm$ 2 *в*; при этом потребляемый ток не превышает 0,5 *ма*.

Усилитель состоит из двух эмиттерных повторителей на транзисторах T_1 и T_3 и усилителя напряжения на транзисторе T_2, собранного по схеме с общим эмиттером. Высокое входное сопротивление усилителя получено включением транзисторов T_1 и T_2 через сопротивление R_8 к плюсу источника питания [Л. 25].

Включение сопротивлений в цепи эмиттеров обеспечивает охват всех трех каскадов местными отрицательными обратными связями. Импульс выходного напряжения образуется на сопротивлении R_{11}. Величину этого сопротивления подбирают при настройке такой, чтобы она была согласована с сопротивлением кабеля или с входом линейного усилителя. Входное сопротивление схемы зависит от величин сопротивлений R_8 и R_{11}. Увеличивая вели-

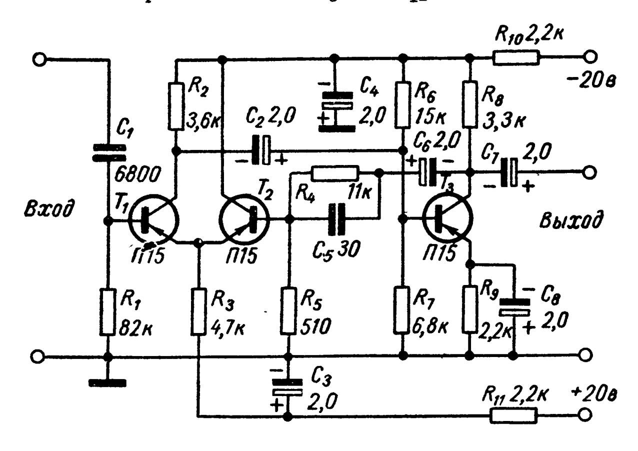


Рис. 34. Предусилитель с невысоким входным сопротивлением.

чины этих сопротивлений, можно повысить входное сопротивление схемы до 10 *Мом*, но при этом подбор транзисторов будет затруднен. В процессе настройки усилителя особое внимание должно быть обращено на качество транзисторов.

В схеме применимы не только указанные, но и любые другие транзисторы. Замена транзисторов приводит лишь к тому, что на низкочастотных транзисторах разрешающее время увеличивается до 10—15 *мксек*. При любых типах транзисторов обратный ток коллектора и коэффициент шума не должны превышать соответственно 1 *мка* и 5 *дб*.

На рис. 34 приведена схема предварительного импульсного усилителя [Л. 26], используемого с полупроводниковым детектором ядерных излучений. Входное сопротивление усилителя — не менее 40 *ком*. Коэффициент усиления равен 22 при факторе обратной связи порядка 10.

Разрешающее время схемы — от 8 до 10 *мксек*. Линейность амплитудной характеристики при максимальном выходном сигнале в 3 *в* не хуже 1%. Колебания окружающей температуры в пределах от +10 до +50° С и изменения напряжения питания на ±10% приводят к дополнительной погрешности, не превышающей 1%. Схема питается от батареи 40 *в*. Напряжение поступает на делитель из двух одинаковых сопротивлений, средняя точка которого соединена с землей. Поэтому напряжение по отношению к корпусу составляет: —20 *в* на коллекторах транзисторов T_1 и T_2 и +20 *в* на эмиттерах этих транзисторов.

Входной каскад усилителя дифференциального типа собран на двух транзисторах T_1 и T_2. Такое включение обеспечивает устойчивость к перегрузкам и удобство в подаче отрицательной обратной связи. Отрицательная обратная связь подается с коллектора транзистора T_3 на базу транзистора T_2 через сопротивление R_4 и конденсатор C_5. Выходной каскад на транзисторе T_3 собран по схеме с общим эмиттером с отрицательной обратной связью по току и с делителем в цепи базы для стабилизации рабочей точки транзистора.

По цепям питания усилитель имеет ячейки развязывающих фильтров из сопротивлений R_{10}, R_{11} и конденсаторов C_3, C_4. Чтобы обеспечить температурную стабильность, надо при настройке усилителя подбирать транзисторы T_1 и T_2 с одинаковыми параметрами.

На рис. 35 приведена схема широкополосного импульсного предусилителя с высоким входным сопротивлением [Л. 27]. Коэффициент усиления схемы — около 10—15 при динамическом диапазоне входного сигнала от 1 *мв* до 0,5 *в*. Разрешающее время усилителя — менее 3 *мксек*. Напряжение шумов, приведенное ко входу, не превышает 0,3 *мв*. Изменение линейности амплитудной характеристики составляет ±2% при изменении окружающей температуры на ±20° С. Напряжение питания схемы составляет 20 *в*. Средняя точка делителя напряжения, состоящего из сопротивлений R_{15} и R_{16}, заземлена. Это позволяет стабилизировать напряжение питания кремниевыми стабилитронами типа Д809—Д810. Ток, потребляемый усилителем, составляет 15 *ма*. Если сопротивления R_{15} и R_{16} удалить из схемы и подавать питание от двух батарей напряжением по 8—10 *в*, то потребление тока значительно сократится.

Усилитель собран на четырех транзисторах T_1, T_3 и T_4 типа П503 и T_2 типа П30. Связь между транзисторами — непосредственная. Первые три каскада являются усилительными. Сопротивления нагрузки каскадов включены в коллекторные цепи. Выходной каскад является эмиттерным повторителем. Он служит для согласования выхода с последующим усилителем или с кабелем, а также с цепочкой обратной связи. Общая отрицательная обратная связь подается с эмиттера транзистора T_4 на базу тран-

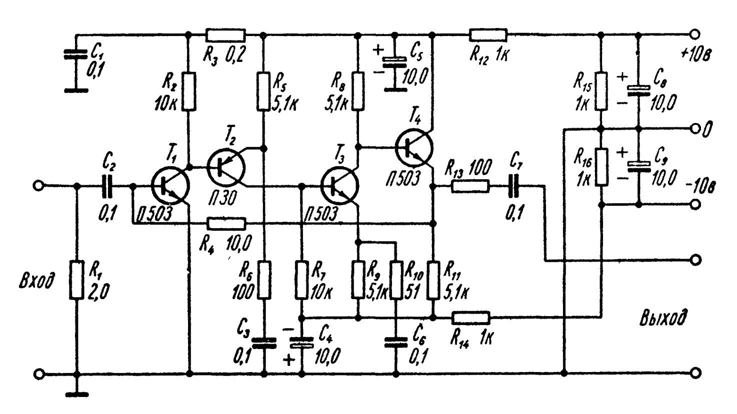


Рис. 35. Широкополосный импульсный предусилитель.

зистора T_1 через сопротивление R_4, т. е. с выхода усилителя на его вход.

Уменьшению напряжения шумов способствует то, что первый каскад питается пониженным напряжением. Это понижение обеспечено включением сопротивлений R_2 и R_3 в цепь коллектора транзистора T_1. Конденсатор C_1 служит развязывающим. Таким образом, действующей коллекторной нагрузкой по переменному току является сопротивление R_2. Роль коллекторной нагрузки транзистора T_2 выполняет сопротивление R_7. Сопротивление R_5 в цепи эмиттера транзистора T_2 создает местную отрицательную обратную связь по току. Цепочка из сопротивления R_6 и конденсатора C_3 уменьшает обратную связь по переменной составляющей. Коллекторной нагрузкой транзистора T_3 служит сопротивление R_8, а в цепь эмиттера включена ячейка обратной связи, аналогичная транзистору T_2. Выходное напряжение усилителя снимается

с сопротивления R_{11}. Влияние внешней нагрузки на усилитель уменьшено тем, что последовательно с конденсатором C_7 включено сопротивление R_{13}. В цепи питания включены развязывающие цепочки из сопротивлений R_{12}, R_{14} и конденсаторов C_4, C_5.

При повторении схемы можно применить транзисторы не только серии 500, но и серии 100. В этом случае характеристики усилителя несколько ухудшаются и требуется подгонка режимов транзисторов сопротивлениями обратной связи и нагрузочными.

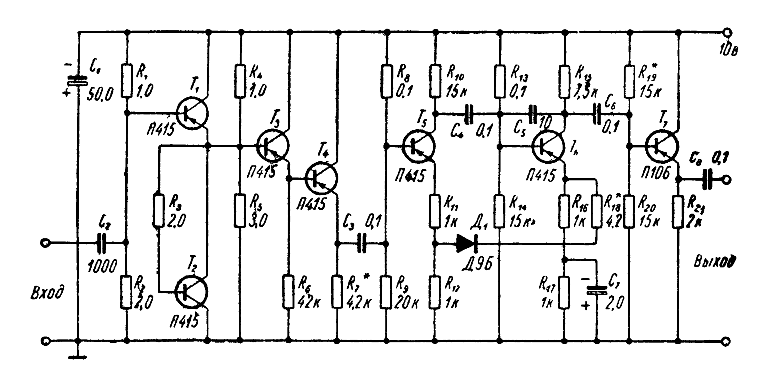


Рис. 36. Предусилитель с большим коэффициентом усиления.

На рис. 36 изображена схема предусилителя с высоким входным сопротивлением [Л. 28]. Величина входного сопротивления превышает 1 *Мом*. Коэффициент усиления — больше 100. Динамический диапазон усилителя — от 0,5 до 30 *мв* при сохранении линейности амплитудной характеристики до $\pm 1\%$. Разрешающее время составляет 4—5 *мксек*. Шумы на выходе, приведенные ко входу, составляют 100 *мкв* при специально подобранных транзисторах по коэффициенту шума и по обратному току коллектора. Коэффициент шума не должен превышать 5 *дб*, а обратный ток коллектора не должен быть более 1 *мка*. При применении транзисторов типа П415 это достигается без особых усилий. Изменение окружающей температуры на $\pm 20°$ С вызывает дополнительную погрешность в $\pm 5\%$. Без специальных мер по стабилизации усиления улучшить характеристику усилителя в отношении температуры не

удается. Ток, потребляемый схемой, составляет 15 *ма* при напряжении в 10 *в*.

Высокое входное сопротивление усилителя обеспечено включением на входе сложного эмиттерного повторителя на четырех транзисторах T_1—T_4. Передача сигнала с входа на выход эмиттерного повторителя равна 0,92—0,95. Транзисторы T_1 и T_2 включены последовательно по питанию постоянным током. В цепи базы транзистора T_1 имеется делитель из высокоомных сопротивлений R_1 и R_2 для стабилизации рабочей точки. Транзисторы T_3 и T_4 включены по схеме составного транзистора; при этом в цепь базы транзистора T_3 также включен высокоомный делитель из сопротивлений R_4 и R_5.

Каждый эмиттерный повторитель охвачен сильной отрицательной обратной связью, что повышает входное сопротивление усилителя и стабилизирует режимы транзисторов. Связь между транзисторами — непосредственная, что ослабляет искажения и уменьшает количество элементов схемы, а также повышает ее стабильность. Усилитель напряжения выполнен на двух транзисторах T_5 и T_6. Каждый каскад усилителя собран по схеме с общим эмиттером. Снижению выходного сопротивления усилителя в целом способствует эмиттерный повторитель на транзисторе T_7 типа П106. Каждый из каскадов на транзисторах T_5—T_7 имеет в цепи базы делитель для стабилизации рабочих точек.

Усилители напряжения на транзисторах T_5 и T_6 охвачены местными отрицательными обратными связями. Это достигнуто включением в цепи эмиттеров сопротивлений R_{11}, R_{12} и R_{16}, R_{17}. Способность к самовозбуждению усилителя уменьшена тем, что между коллектором и базой транзистора T_6 включен конденсатор обратной связи C_5. Для увеличения общего усиления схемы введена положительная обратная связь с эмиттера транзистора T_6 через сопротивление R_{18} и диод $Д_1$ на среднюю точку сопротивлений R_{11} и R_{12} в цепи эмиттера T_5. Диод можно заменить конденсатором. Величина емкости конденсатора будет определять усиление и частотный диапазон схемы усилителя. Усилитель очень прост в настройке и почти не требует подбора элементов. Если напряжение шума на выходе повышено, то подавать напряжение питания на сложный эмиттерный повторитель следует через сопротивление развязки порядка 1 *ком*.

На рис. 37 изображена схема предварительного усилителя с низким входным сопротивлением [Л. 29]. Усилитель собран на шести транзисторах, соединенных попарно в три каскада. Усиление схемы по напряжению составляет около 20—30. Разрешающее время не превышает 2—3 *мксек*. Входное сопротивление усилителя — около 500, а выходное — около 100 *ом*. Схема, питаясь напряжением в 20 *в*, потребляет ток, не превышающий 10 *ма*.

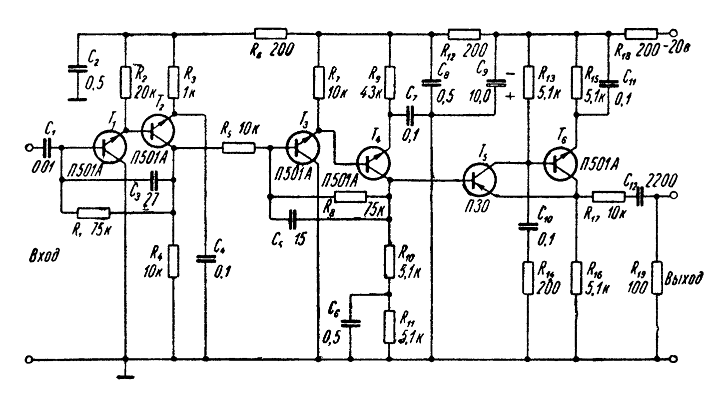


Рис. 37. Предусилитель с низким входным сопротивлением.

Динамический диапазон усилителя — от 1 до 10 *мв*; при этом сохраняется линейность амплитудной характеристики в пределах ±1%. С увеличением входного напряжения до 0,5 *в* линейность ухудшается до ±10%. При температурном воздействии на усилитель в диапазоне ±20° С дополнительная погрешность составляет ±3%. С изменением напряжения питания на ±2 *в* погрешность не превышает ±0,5%.

Входной каскад собран на двух транзисторах T_1 и T_2. Удачный подбор этой пары уменьшает дрейф и напряжение шумов. Каскад охвачен сильной отрицательной обратной связью; она подается с коллектора транзистора T_2 на базу транзистора T_1 через сопротивление R_1 и конденсатор C_3. От величины емкости конденсатора C_3 зависят ширина полосы пропускания и температурная стабильность. Начальное формирование входного импульса осуществляется цепочкой из конденсатора C_1 и сопротивления R_1. Подбор величины этих элементов должен обеспе-

чить такую постоянную времени цепочки, которая была бы достаточно большой, чтобы динамический диапазон схемы не уменьшался, и в то же время достаточно малой, чтобы с возрастанием частоты не изменялось усиление.

Усиление каскада составляет от 2 до 4. Сопротивление R_4 служит коллекторной нагрузкой транзистора T_2. Сопротивление R_3 и конденсатор C_4 образуют ячейку местной отрицательной обратной связи. Связь между каскадами поддерживается через сопротивление R_5, которое ослабляет влияние остальной части схемы на входное сопротивление усилителя и уменьшает искажения фронтов импульса при переходе от каскада к каскаду. Схема второго усилительного каскада на транзисторах T_3 и T_4 отличается от схемы первого каскада только номиналами элементов. Усиление каскада — около 7—10. Глубина отрицательной обратной связи — порядка 50. Связь с выходным каскадом — непосредственная.

Выходной каскад на транзисторах T_5 и T_6, собранный по схеме Уайта, обладает очень низким выходным сопротивлением и высокой температурной стабильностью. Это достигнуто благодаря тому, что транзисторы разных проводимостей включены по схеме составного транзистора.

Все три каскада усиления имеют ячейки развязывающих фильтров из сопротивлений и конденсаторов: R_6—C_2; R_{12}—C_8; R_{18}—C_9.

Если этот усилитель использовать в качестве предварительного, то целесообразно на входе схемы включить входной трансформатор.

Линейные усилители

Для дальнейшего усиления импульсов применяют линейные усилители. Их включают, как правило, после предварительных усилителей. Назначение линейных усилителей — усиливать импульсы до величины, обеспечивающей нормальную работу счетных или анализирующих схем, подключенных к выходу тех же линейных усилителей. Иногда в линейных усилителях происходит некоторое формирование импульсов, но лишь по длительности, а не по амплитуде.

На рис. 38 показана схема простого линейного импульсного усилителя на трех транзисторах [Л. 30]. Входное сопротивление схемы — низкое; оно определяется пере-

ходом база—эмиттер транзистора T_1. Выходное сопротивление — не менее 100 *ом*. Коэффициент усиления схемы — около 10. Максимальное выходное напряжение, как положительной, так и отрицательной полярности, составляет 3—4 *в*. Разрешающее время схемы — около 3—4 *мксек*. Амплитудная характеристика линейна с точностью до ±0,2%. Питание схемы осуществляется от батареи напряжением 10 *в*. Для подачи напряжения смещения на первый и третий каскады служит отдельная батарея на-

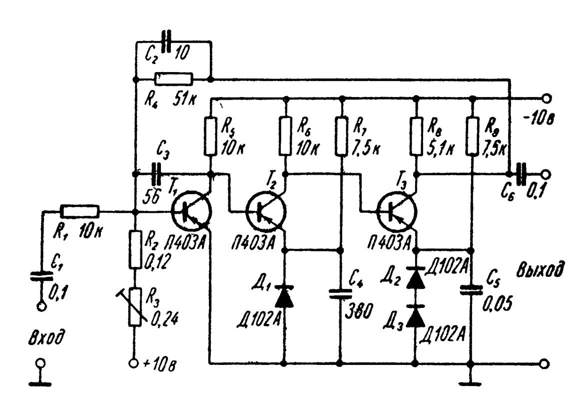


Рис. 38. Простой линейный усилитель.

пряжением 10 *в*, подключенная плюсом к сопротивлению R_3 и минусом — к корпусу. Необходимое напряжение смещения устанавливают сопротивлением R_3.

Потребляемый схемой ток от основной батареи не превышает 5 *ма*. Стабилизации от различных дестабилизирующих воздействий способствует то, что схема охвачена параллельной отрицательной обратной связью с выхода на вход. Цепочка отрицательной обратной связи, состоящая из сопротивления R_4 и конденсатора C_2, подключена к коллектору транзистора T_3 и к базе транзистора T_1. Изменяя величину сопротивления R_4, можно менять коэффициент усиления усилителя. Все три каскада усилителя собраны по схеме с общим эмиттером. Каскады на транзисторах T_2 и T_3 охвачены местной отрицательной обратной связью по току. Эта связь создана тем, что в цепи эмиттеров включены диоды в прямом направлении. Диоды не только обеспечивают динамическую обратную

связь, но и оказывают термостабилизирующее влияние на режимы транзисторов. Связь между транзисторами — непосредственная, что уменьшает количество элементов в схеме и ослабляет искажения. Если схему соединить с предусилителем, то сопротивление R_1 можно значительно уменьшить или же исключить вовсе.

В схеме допустимо применять транзисторы и диоды без подбора, лишь бы их параметры удовлетворяли паспортным данным. При изготовлении и наладке усилителя необходимо в цепи питания и смещения включить развязывающие ячейки из сопротивлений и конденсаторов.

На рис. 39 показан линейный импульсный усилитель для усиления амплитуды импульсов, статистически распределенных во времени [Л. 31].

Коэффициент усиления схемы равен 100 при динамическом диапазоне входных импульсов от 2 до 95 *мв*. Разрешающее время — около 3—4 *мксек* при длительности входного импульса не менее 1 *мксек*. Нелинейность амплитудной характеристики составляет 5% при подаче на вход отрицательных импульсов с амплитудой, не превышающей 100 *мв*. Подача на вход усилителя импульсов с амплитудой выше 100 *мв* вызывает ее ограничение. Выходное сопротивление составляет около 1 *ком*, при этом полярность выходного импульса — положительная. Питаясь напряжением 30 *в*, схема потребляет не более 30 *ма*. Входное сопротивление усилителя — низкое, поэтому схему можно использовать с предусилителем или входным трансформатором, что зависит от внутреннего сопротивления источника.

Импульсы входного напряжения поступают на базу транзистора T_1 через конденсатор C_1. На транзисторах T_1—T_2 собран входной дифференциальный каскад. Левая часть каскада на транзисторе T_1 служит для усиления сигнала, а правая — на транзисторе T_2 — для температурной компенсации и подачи отрицательной обратной связи. Обратная связь поступает на базу транзистора T_2 с части эмиттерного сопротивления транзистора T_4.

Включение дифференциального каскада на входе схемы удобно во многих отношениях: во-первых, из-за простоты подачи отрицательной обратной связи, во-вторых, ввиду устойчивости против перегрузок по входу, в-третьих, благодаря тому, что температурная стабильность такой схемы известна, если транзисторы по своим параметрам одинаковы.

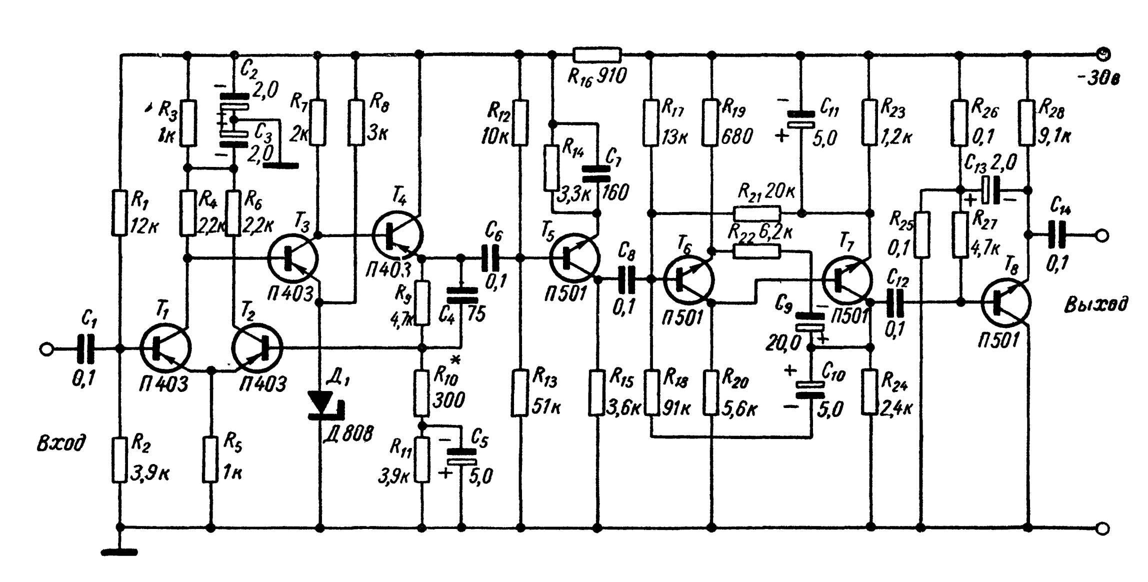


Рис. 39. Высококачественный линейный усилитель.

Вторым каскадом служит усилитель напряжения на транзисторе T_3, собранный по схеме с общим эмиттером. Для фиксации напряжения на эмиттере служит кремниевый стабилитрон $Д_1$, включенный в обратном направлении. Напряжение на него поступает через добавочное сопротивление R_8. Усиленный по напряжению сигнал подается на базу эмиттерного повторителя на транзисторе T_4. Наличие в эмиттерной цепи последнего трех сопротивлений R_9—R_{11} и двух конденсаторов C_4 и C_5 объясняется различными величинами обратных связей (по постоянному и переменному токам), необходимых для нормальной работы усилительной секции на первых четырех транзисторах T_1—T_4. Эмиттерный повторитель служит для согласования усилительных каскадов на транзисторах T_1—T_3 с фазоинвертором на транзисторе T_5.

Фазоинвертор на транзисторе T_5 и оконечная часть усилителя на транзисторах T_6—T_8 собраны на кремниевых транзисторах *n-p-n*-проводимости.

Применение в усилителе транзисторов такой проводимости вызвано тем, что отрицательный импульс напряжения сигнала, поступающий на фазоинвертор, изменяет свою полярность на положительную. Усиленный по напряжению положительный импульс подается с коллектора транзистора T_5 на базу транзистора T_6 через переходной кондесатор C_8. Каскад на транзисторе T_6 так же, как каскад на транзисторе T_7, собран по схеме с общим эмиттером. Связь между этими каскадами непосредственная — с коллектора транзистора T_6 на базу транзистора T_7. Каскады на транзисторах T_6 и T_7 охвачены комбинированными обратными связями по постоянной и переменной составляющим. Это способствует тому, что схема работает стабильно в условиях меняющейся температуры, уменьшаются искажения фронтов импульсов и сохраняется линейность в динамическом диапазоне при необходимом усилении всей схемы. С коллектора транзистора T_7 сигнал поступает на эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе T_8. Максимальная амплитуда выходного импульса равна 10 *в*.

Следует заметить, что наличие непосредственной связи между каскадами первой усилительной секции нельзя считать недостатком, так как такая связь уменьшает искажения формы импульсов, а перегрузки по частоте мало сказываются на режимах работы транзисторов.

На рис. 40 приведена схема линейного импульсного усилителя [Л. 32]. Усилитель предназначен для усиления амплитуды импульсов. Динамический диапазон входных импульсов по напряжению — от 5 до 120 *ма* (при отрицательной полярности). Разрешающее время — не хуже 3 *мксек*. Коэффициент усиления равен 100. Входная емкость равна 20 *пф*, а выходное сопротивление составляет 0,5 *ком*; нелинейность амплитудной характеристики при этом не хуже ±3%.

Питание подается от двух источников напряжения разной полярности, причем средней точкой служит корпус. Напряжение источников составляет +30 и —30 *в* при общем потреблении тока не выше 35 *ма*. Усилитель сохраняет работоспособность в диапазоне окружающей температуры от —10 до +40° С, дополнительная погрешность при этом не выходит за пределы ±5%.

Усилитель состоит из двух усилительных секций. Первая секция, выполненная на транзисторах T_1—T_4, почти ничем не отличается от входной части усилителя, показанного на рис. 39. Коэффициент усиления секции по напряжению — порядка 25—30. Эмиттерный повторитель на транзисторе T_4 служит для согласования со второй усилительной секцией на транзисторах T_5—T_7. Принципиально эмиттерный повторитель не нужен. Но при изменении окружающей температуры возникает опасность самовозбуждения всего усилителя.

Каждый каскад второй усилительной секции охвачен местной отрицательной обратной связью по току, а каскад на транзисторе T_6 — еще и по напряжению благодаря включению сопротивлений R_{20} и R_{22} между коллектором и базой. Помимо этого, отрицательная обратная связь поступает с сопротивления R_{25}, включенного в цепь эмиттера транзистора T_6, на базу транзистора T_5. Напряжение смещения, фиксирующее рабочие точки транзисторов T_5 и T_6, поступает на базы через сопротивления R_{16} и R_{21}. Коэффициент усиления этой секции — около 3—4, его регулируют при настройке с помощью сопротивления обратной связи R_{20}.

Получение низкого выходного сопротивления схемы усилителя обеспечено тем, что на выходе секции включен эмиттерный повторитель на транзисторе T_7. При настройке схемы транзисторы T_1—T_3 и T_7 необходимо тщательно подобрать. Транзисторы T_1 и T_2 должны обладать одина-

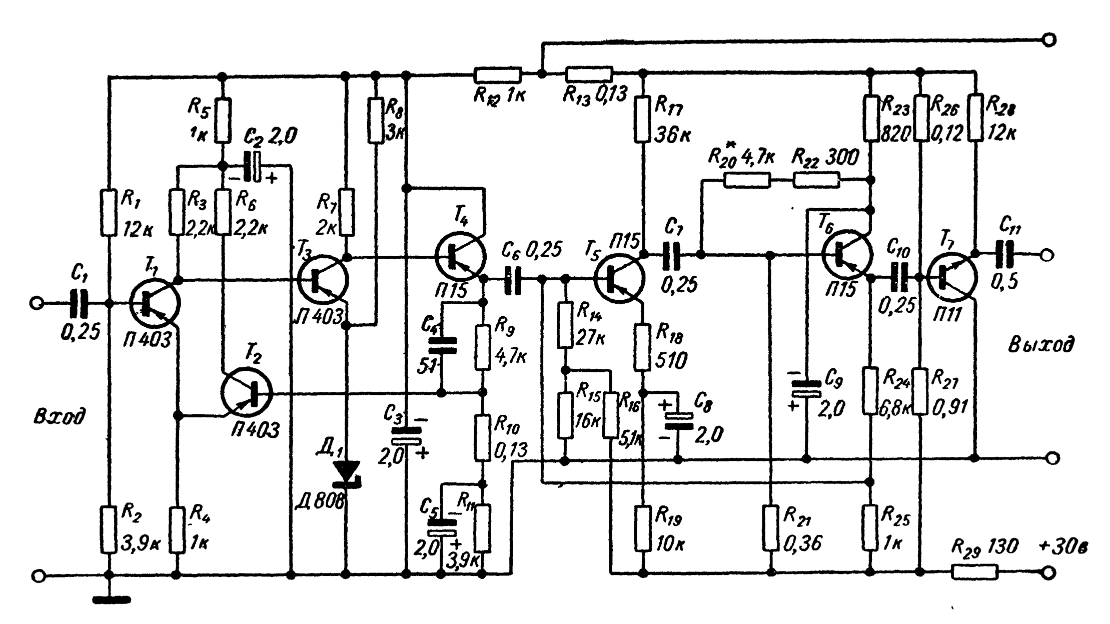


Рис. 40. Линейный импульсный усилитель.

ковыми параметрами по номинальному коэффициенту шума и обратному току коллектора; транзистор T_3 подбирают по этим же параметрам, но он может быть и не парным; у транзистора T_7 значение граничной частоты должно быть наивысшим.

Усилители с регистраторами

Определять частоту следования импульсов можно двумя способами. Первый заключается в счете и запоминании каждого импульса и в последующем делении результата, показанного счетчиком, на время регистрации. При втором способе прибор непосредственно показывает

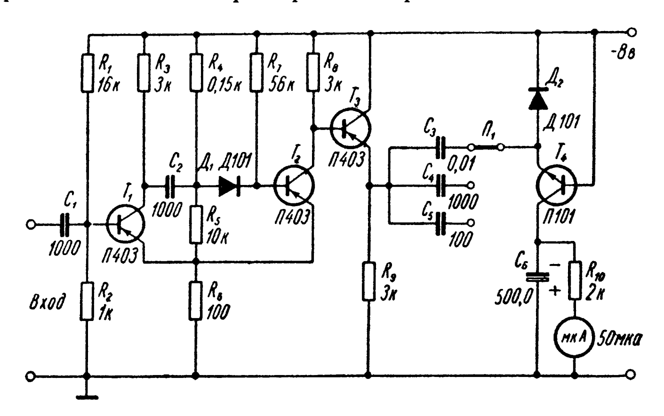


Рис. 41. Высокочувствительный интенсиметр.

среднюю частоту следования импульсов в любой момент измерения. Устройства, измеряющие среднюю скорость следования импульсов, называются и н т е н с и м е т р а м и.

Высокочувствительное устройство этого рода изображено на рис. 41 [Л. 32]. Диапазон измеряемых скоростей счета — от 0 до 10 000 импульсов в секунду — разбит на три поддиапазона в отношении: 1 : 10 : 100. Интенсиметр нормально работает при подаче на его вход отрицательных импульсов с амплитудой напряжения от 150 *мв* до 3 *в* и длительностью не менее 10 *мксек*. Нелинейность шкалы регистрирующего прибора не превышает $\pm 5\%$. Постоянная времени регистрирующего прибора — не

более 2 *сек*. Питаясь напряжением 8 *в*, схема потребляет ток не выше 10 *ма*.

Описываемую схему можно использовать с предварительным усилителем или с любым другим устройством, если входное сопротивление интенсиметра согласовать с выходным сопротивлением датчика импульсов.

На транзисторах T_1 и T_2 собран ждущий мультивибратор. Если нет сигнала на входе мультивибратора, то на выходе его тоже нет сигнала. Когда на вход интенсиметра поступает импульсный сигнал, превышающий по амплитуде порог срабатывания, устанавливаемый при помощи диода $Д_1$, то на базу транзистора T_3 поступает импульс. Амплитуда и длительность этого импульса зависят от параметров мультивибратора. При указанных номиналах длительность импульса на базе транзистора T_3 составит около 50 *мксек*, а амплитуда — от 4 до 5 *в*. Каскад на транзисторе T_3 собран по схеме эмиттерного повторителя, что ускоряет перезаряд дозирующих конденсаторов C_3—C_5. Дозирующие емкости подключены к переключателю $П_1$, с помощью которого можно выбрать нужный поддиапазон. Выходной каскад на транзисторе T_4 собран по схеме с общей базой. Такое включение транзистора обеспечивает разделение цепи интегрирования, состоящей из конденсатора C_6, сопротивления R_{10}, микроамперметра и цепи перезаряда дозирующих емкостей. Транзистор T_4 управляется по цепи эмиттера. Что касается перезаряда дозирующих емкостей, то на одном фронте импульса он происходит через диод $Д_2$, а на другом — через переход эмиттер—база.

При наладке схемы наибольшего внимания требует установка порога срабатывания мультивибратора. Эта операция заключается в подборе сопротивлений делителя R_4—R_7.

Схему можно отрегулировать так, что она будет срабатывать при определенном заданном уровне напряжения входного импульса. Остальные элементы схемы в подборе, как правило, не нуждаются.

На рис. 42 приведена схема импульсного усилителя с включенным на выходе электромеханическим счетчиком импульсов [Л. 32].

Входное сопротивление усилителя равно 0,5 *ком*. Динамический диапазон входных импульсов — от 1 до 5 *в* при положительной полярности и длительности не ме-

нее 10 *мксек*. Максимальная скорость счета составляет 2000 импульсов в минуту, при этом сосчитывается каждый одиночный импульс.

Погрешность в счете зависит от расстояния между входными импульсами и достигает ±5%. При работе от генератора импульсов погрешность не превышает погрешности генератора. Для работы схемы необходимы два источника питания напряжением —8 и —30 *в*. Можно

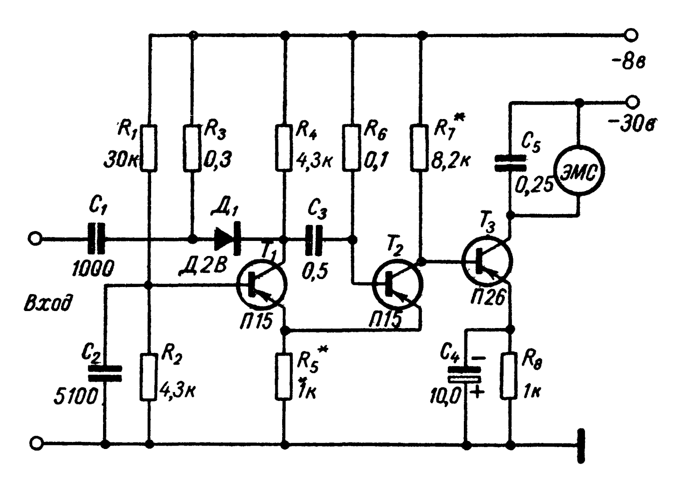


Рис. 42. Усилитель с электромеханическим счетчиком импульсов.

было бы питать всю схему от —30 *в*, а —8 *в* получать на делителе, но это неэкономично, так как выходной каскад работает в режиме ключа и потребляет по току несколько миллиампер. Потребляемый схемой ток от источника напряжением —8 *в* не превышает 3 *ма*.

Усилитель можно применять совместно с линейным усилителем, если скорость счета не превышает максимально допустимой. Если скорость счета велика, то перед схемой устанавливают делитель. Включив на входе схемы эмиттерный повторитель, можно подавать импульсы практически от любого устройства. Схема сохраняет работоспособность при изменении окружающей температуры от —10 до +40° С. В качестве электромеханического счетчика использован счетчик типа МЭС-54.

Схема усилителя состоит из ждущего мультивибратора на транзисторах T_1 и T_2 и выходного каскада с нагрузкой в коллекторе на транзисторе T_3. Входной импульс через конденсатор C_1, диод $Д_1$ и конденсатор C_3 подается на базу нормально открытого транзистора T_2. Мультивибратор срабатывает, и с коллектора транзистора T_2 на базу транзистора T_3 поступает сформированный по амплитуде и длительности отрицательный импульс. Амплитуда импульса составляет 3 *в*, а длительность — не менее 10 *мксек*. Четкость запуска электромеханического счетчика во всем диапазоне скоростей счета импульсов обеспечена тем, что между транзисторами T_2 и T_3 существует непосредственная связь.

Электромеханический счетчик срабатывает при прохождении через его обмотку импульса тока около 7 *ма*. В усилителе можно применять не только указанные на схеме транзисторы, но и другие. Так, вместо П15, можно ставить и П14, П16, П13, а вместо П26 допустимо использовать П25 и П20. Схему настраивают от генератора импульсов, и если мультивибратор не срабатывает или срабатывает нечетко, то необходимо сопротивления R_5 и R_7 заменить переменными и подобрать их величины так, чтобы обеспечить четкое срабатывание. Импульс на коллекторе транзистора T_2 будет прямоугольным. В случае плохой работы электромеханического счетчика рекомендуется изменить величину сопротивления R_8. Но, как правило, схема начинает работать сразу.

На рис. 43 показана схема импульсного усилителя со стрелочным регистратором скорости счета [Л. 33]. Входное сопротивление усилителя — около 0,5 *Мом*. Разрешающее время — от 8 до 10 *мксек*. Динамический диапазон входных импульсов — от 2 до 20 *мв*. Общий коэффициент усиления схемы по току составляет 20—25. Максимальная скорость счета не превышает 5000 импульсов в секунду. Усилитель питается напряжением 4,5 *в* и потребляет ток в 1 *ма*. Схема устойчиво работает при изменении окружающей температуры на $\pm 20^\circ$ С, дополнительная погрешность при этом не превышает $\pm 5\%$.

Схему можно использовать непосредственно с фотоумножителем или газоразрядными счетчиками, а также со всякими другими датчиками импульсов, имеющими высокое выходное сопротивление.

Импульсный усилитель собран на трех транзисторах T_1—T_3 с повышающим трансформатором на выходе. Для придания схеме высокого входного сопротивления первый каскад на транзисторе T_1 собран как эмиттерный повторитель и охвачен сильными отрицательными обратными связями по току. Второй каскад на транзисторе T_2 собран также по схеме эмиттерного повторителя. Связь между первым и вторым каскадами — емкостная. Оба эмиттерных повторителя в базовых цепях имеют делители

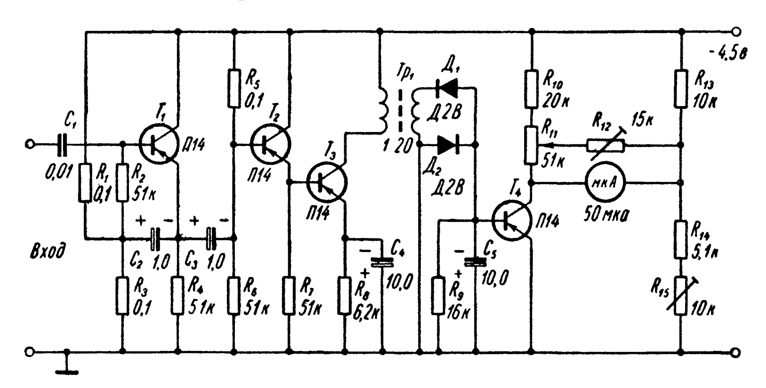


Рис. 43. Усилитель с микроамперметром.

из сопротивлений R_1—R_3 и R_5, R_6, предназначенные для стабилизации рабочей точки транзисторов. Третий каскад на транзисторе T_3 выполнен по схеме с общим эмиттером. В качестве нагрузки в коллекторную цепь включен повышающий трансформатор на ферритовом кольце с наружным диаметром 17—20 *мм*. Магнитная проницаемость равна 1000—2000. Первичная обмотка выполнена из 50—60 витков проволоки диаметром 0,2 *мм*, а вторичная — из 1000—1500 витков проволоки диаметром 0,1—0,05 *мм*. Выпрямленное напряжение сигнала поступает на базу транзистора T_4. Каскад на этом транзисторе является выходным и представляет собой усилитель постоянного тока, собранный по схеме с общим эмиттером.

Регистрирующий прибор (микроамперметр на 50 *мка*) включен в диагональ моста, образованного транзистором с коллекторной нагрузкой и делителем из сопротивлений R_{13}—R_{15}. Нуль прибора устанавливают с помощью пере-

менных сопротивлений R_{11} и R_{15}, а чувствительность регулируют сопротивлением R_{12}.

Если при настройке схемы выявится, что она недостаточно чувствительна, то следует уменьшить величину сопротивления R_8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прежде чем воспроизводить транзисторную измерительную схему, надо собрать макет и проверить его в работе. Когда номиналы подборочных элементов уточнены, можно переходить к составлению эскизов плат и монтажных схем. При изготовлении последних (а они совершенно необходимы) нужно произвести тщательную разметку под каждый элемент, сообразуясь с заданными габаритами элементов и удобством доступа к ним. Только после изготовления эскизов монтажной схемы и платы и выяснения вопроса о том, как последняя будет закреплена в корпусе прибора, можно приступить к материальному воплощению избранной схемы.

При выборе источника питания особое внимание следует обратить на фильтры в цепях питания, стабилизацию и контроль напряжения. В случае применения батарейного питания достаточно установить конденсаторы большой емкости (50—100 *мкф*) и небольшое сопротивление (100—200 *ом*). Если требуется высокоэкономичная схема, то в цепь питания можно включить переменное гасящее сопротивление для установки номинального напряжения питания с контролем по стрелочному прибору. Наконец, если величина тока от батарей не играет большой роли, то следует применить стабилизатор на кремниевых диодах или транзисторах. Во всех случаях после гасящего сопротивления и стабилизатора необходимо включить конденсатор фильтра.

Питание от сети делает необходимым использование стабилизатора, так как колебания сетевого напряжения бывают весьма значительными (от +10 до —20%). Для особо точных измерений нужно между стабилизатором напряжения и измерительной схемой включать сглаживающий фильтр на транзисторах.

Параметры фотоумножителей

Тип	Область спектральной чувствительности, Å	Рабочее напряжение, *в*	Интегральная чувствительность фотокатода, *мка/лм*	Интегральная анодная чувствительность, *а/лм*	Наибольший темновой ток, 10^{-8} *а*	Наибольший ток на выходе, *ма*	Число каскадов усиления	Оптический вход фотокатода	Диаметр фотокатода, *мм*	Габариты, *мм*		Область применения
										Высота	Диаметр	
ФЭУ-11	3300—6500	1700	50	5	80	25	12	Торцовый	45	179	52	Сцинтилляционная спектрометрия
ФЭУ-12А	3300—7500	1700	50	5	80	25	12	То же	45	179	52	Телевизионная аппаратура и спектрометрия
ФЭУ-13А	3300—6500	1700	60	6	40	5	12	»	45	129	52	Сцинтилляционная спектрометрия
ФЭУ-14А	3300—7500	1700	60	10	40	5	12	»	45	129	52	Телевидение и спектрометрия
ФЭУ-15А	3000—8000	1700	40	30	10	5	12	»	20	113	33,5	То же
ФЭУ-15В	3000—8000	1700	20	30	6	5	12	»	20	113	33,5	Фототелеграфная аппаратура
ФЭУ-16А	3000—7000	1700	40	30	10	5	12	»	20	113	33,5	Телевидение
ФЭУ-16Б	3000—7000	1250	20	5	40	5	12	»	20	113	33,5	Сцинтилляционная аппаратура
ФЭУ-17А	3000—6000	900	20	10	0,3	0,1	13	Боковой	16×5	181	60	Спектрофотометрия
ФЭУ-18А	2150—6000	1400	20	1000	30	0,1	13	»	16×5	181	64	То же
ФЭУ-19А	3000—6000	1700	30	1000	100	0,2	13	Торцовый	34	200	60	Ядерная аппаратура и спектрофотометрия

ФЭУ-20	3000—6000	900	20	1	0,8	0,1	8	Боковой	10×5	95	34	Спектрофотометрия
ФЭУ-22	4000—11000	1400	—	3	2	0,3	13	»	16×5	181	60,5	То же
ФЭУ-24	3000—6000	1350	25	10	30	0,2	13	Торцо-вый	75	236	82	Ядерная аппаратура
ФЭУ-25	4000—6000	1250	—	1	5	0,1	9	То же	25	114	34	Спектрофотометрия
ФЭУ-27	3200—7500	1100	30	1	0,5	0,1	11	»	25	108	30	То же
ФЭУ-28	4000—11000	1800	20	10	200	0,1	11	»	25	122	34	» »
ФЭУ-29	3000—6000	1000	45	10	3	0,2	13	»	34	200	60	Ядерная аппаратура
ФЭУ-31А	3000—6000	1300	20	10	50	0,075	8	»	18	79	22,5	Спектрофотометрия
ФЭУ-32	3200—7500	1750	25	10	10	—	11	»	25	123	34	То же
ФЭУ-35	3000—6000	1100	40	10	0,4	0,05	8	»	25	113	34	Ядерная аппаратура
ФЭУ-38	3000—8200	1600	90	10	1	0,2	13	»	34	200	48,5	Спектрофотометрия
ФЭУ-39	3000—6000	1200	25	10	0,3	0,2	13	»	34	200	48,5	То же
ФЭУ-39А	1600—6000	1800	25	1000	100	0,01	11	»	34	178	48,5	» »
ФЭУ-42	3000—6000	1800	30	—	10	0,3	11	»	40	205	48	Ядерная аппаратура
ФЭУ-49	3000—8000	1800	50	5	80	25	12	»	150	203,2	171	То же
ФЭУ-51	3000—8200	2300	60	100	30	0,1	11	»	25	110	34	Спектрофотометрия
ФЭУ-52	3000—8000	1800	50	10	6	10	12	»	70	133,3	81	Ядерная аппаратура
ФЭУ-56	3000—6500	1800	30	15	10	10	12	»	70	133,3	81	То же
ФЭУ-57	2000—4000	1700	—	—	5	1	12	»	44	126,2	51,8	» »
ФЭУ-62	4000—12000	1300	15	1	6	0,1	11	»	10	91	35	Спектрофотометрия
ФЭУ-64	3000—6000	1500	25	1000	5	0,1	11	»	5	175	48,5	То же
ФЭУ-67	3000—6000	1250	20	3	0,5	—	8	»	10	79	22,5	» »
ФЭУ-68	3000—8200	1350	50	1	1	0,05	10	»	10	75	15	Портативная аппаратура

Тип	Напряжение начала счета, *в*	Протяженность плато, *в*	Наклон плато, % на 1 *в*	Рабочее напряжение, *в*	Фон, *имп/мин*	Максимальная скорость счета, *имп/мин*	Ресурс в импульсах, ×10[8]
СИ1Р	—	100	0,2	850	—	—	10
СИ2Р	1350	200	0,05	—	—	—	3
СИ3Р	1500	150	0,07	—	—	—	30
СИ4Р	1500	150	0,07	—	—	—	30
СИ5Б	1400 ± 150	150 — 200	0,03	—	—	10 000	0,5
СИ6Б	—	200	0,1	900	—	—	100
СИ7Б	—	200	0,1	900	—	—	100
СИ12БГ	—	80	0,2	900	—	—	100
СИ7Г	1200 ± 50	250	0,1	1300 ± 50	100	25 000	0,5
СИ8Г	1200 ± 50	250	0,1	1300 ± 50	300	30 000	3
СИ10Г	295—330	80	0,2	360—440	—	—	100
СИ11Г	295—330	80	0,2	360—440	—	—	100
СИ12Г	295—330	80	0,25	360—440	—	—	100
СИ13Г	295—330	80	0,25	360—440	—	—	100
СИ14Г	295—330	80	0,3	360—440	—	—	100
СИ19Г	280—320	100	0,125	360—440	20	200 000	100
СИ20Г	285—335	100	0,125	380—480	60	200 000	100
СИ21Г	285—335	100	0,125	380—480	80	200 000	100
СИ22Г	285—335	100	0,125	380—480	75	200 000	100

Технические данные, помещенные в приложении, заимствованы из каталога «Изотоп» (Атомиздат, 1964). В приложение не включены данные, опубликован ства», (Госэнергоиздат, вып. 338 Массовой радиобиблиотеки, 1959).

разрядных счетчиков

Диапазон рабочих температур, °C от	Диапазон рабочих температур, °C до	Чувствительность счетчика при облучении дозой в 0,1 *мкр/сек, имп/мин*	Сопротивление внешней нагрузки, *Мом*	Пороговая чувствительность внешней регистрирующей схемы, *в*	Диаметр окна торцового счетчика или длина рабочей части цилиндрического счетчика, *мм*	Габариты счетчика, *мм* Длина	Габариты счетчика, *мм* Диаметр	Конструкция	Применение
—40	+50	—	20	1	—	85	30	Стеклянный с бериллиевым окном	Для мягких рентгеновских лучей
—20	+50	—	8—15	—	18	260	50		
—20	+50	—	—	—	12	125	26		
—20	+50	—	—	—	12	160	26		
—40	+60	—	7—10	—	43	90	70	Со слюдяным окном	Для β-излучений
—80	+100	900±180	5—10	—	97	112,5	12	Цилиндрический металлический	
—80	+100	1800±360	5—10	—	—	199,5	22		
—50	+100	340±85	—	—	68	73	12		Для β- и γ-излучений
—40	+50	—	4—8	0,6—2	—	220	16	Цилиндрический стеклянный	Для γ-излучений
—40	+50	—	4—8	0,6—2	—	360	33		
—50	+100	5,2	1,0	—	—	93,5	23		
—50	+100	24	1,0	—	—	180	23		
—50	+80	2	1,0	—	—	118	9		
—50	+80	0,7	1,0	—	—	66	9		
—50	+80	0,09	1,0	—	—	60	8		
—40	+50	425—575	9—13	1—3	79	93,5	11	Цилиндрический металлический	
—40	+50	1785—2415	9—13	1—3	—	180	19		
—40	+50	2560—3840	9—13	1—3	—	265	19		
—40	+50	2550—3450	9—13	1—3	—	220	19		

«Дозиметрические и радиометрические приборы» Всесоюзного объединения
ные в брошюре В. А. Хитуна «Счетчики ядерного излучения и счетные устрой-

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Константинова-Шлезингер (ред.), Люминесцентный анализ, Физматгиз, 1961.

2. Е. И. Долгирев, В. П. Николаев, Прибор для измерения эффективного атомного номера образцов горных пород, руд и минералов, в сб. «Геофизическое приборостроение», вып. 14, Гостоптехиздат, 1962.

3. М. А Розенблат, К расчету магнитомодуляционных датчиков напряженности магнитного поля, «Электричество», № 7, 1957.

4. W. A. Geyger, The Ring-Core Magnetometer — A New Type of Second-Harmonic Flux-Gate Magnetometer, «Communication and Electronics», v. 59, March 1962.

5. Ю. А. Афанасьев, О возможности построения феррозондового магнитометра, работающего на сумме четных гармоник, в сб. «Геофизическое приборостроение», вып. 3, Гостоптехиздат, 1959.

6. Ф. М. Майоров, Электронные регуляторы, Гостехиздат, 1956.

7. Б. Х. Кривицкий, Автоматические системы радиотехнических устройств, Госэнергоиздат, 1962.

8 П. Д. Горецкий, О. Н. Румянцева, Об опыте автоматического измерения напряженности магнитного поля постоянных магнитов с помощью датчика Холла, в сб. «Новые методы и аппаратура для испытания ферромагнитных материалов», Труды институтов Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, вып. 64 (124), Стандартгиз, 1962.

9 В. И. Чечерников, Магнитные измерения, Изд-во Московского университета, 1963.

10. Р. Ф. Ши (ред.), Расчет транзисторных цепей, Изд-во «Энергия», 1964.

11. Р. П. Танер, Схемы с полупроводниковыми триодами, русский перевод под ред. Р. М. Малина, Воениздат, 1960.

12. К. Д. Осипов, В. В. Пасынков, Справочник по радиоизмерительным приборам, ч. 5, Изд-во «Советское радио», 1964.

13. I. W. Stanton, A Transistorized D. C. Amplifier, «IRE Transactions on Circuit Theory», March 1956, p. 65.

14. И. В. Бутусов, Цифровые устройства для автоматического контроля, измерения и управления, Изд-во «Недра», 1964.

15. И. П. Степаненко, Основы теории транзисторов и транзисторных схем, Госэнергоиздат, 1963.

16. М. Г. Мизюк, Н. И. Смирнов, Милливольтметр постоянного тока на плоскостных триодах, в сб. «Полупроводниковые

приборы и их применение», под ред. Я. А. Федотова, вып. 4, Изд-во «Советское радио», 1960.

17. Ю. И. Конев, Полупроводниковые триоды в автоматике, Изд-во «Советское радио», 1960.

18. В. Телятников, Стабильные усилители ПЧ без нейтрализации, «Радио», № 9, 1962.

19. Дж. Каррол, Полупроводниковые схемы для новой техники, Изд-во «Мир», 1964.

20. Chong, Cobbold, A Note on Active RC Low-Pass Filters, «Electronic Engineering», July 1963, v. 35, No. 425.

21. Ю. В. Сафрошкин, Частотно-избирательные RC-схемы на полупроводниковых триодах, в сб. «Полупроводниковые приборы и их применение», под ред. Я. А. Федотова, вып. 9, Изд-во «Советское радио», 1963.

22. И. Капустин, Транзисторный усилитель с высоким входным сопротивлением, «Радио», № 9, 1962.

23. М. Н. Унгерман, Измерительный усилитель низкой частоты на транзисторах, в сб. «Геофизическое приборостроение», вып. 9, Гостоптехиздат, 1961.

24. К. В. Маляревский, В. К. Рыбин, Прибор для наземных электроразведочных работ на переменном токе, в сб. «Геофизическое приборостроение», вып. 20, Изд. «Недра», 1964.

25. Дж. Маркус, Схемы электронной автоматики, Изд-во иностранной литературы, 1962.

26. Х. Кекк, В. Л. Михеев и др., Измерение энергии тяжелых ионов на внутреннем пучке циклотрона, «Приборы и техника эксперимента», № 4, 1963.

27. Цуикай, Каллахан, Орбитальная лаборатория для изучения света слабых звезд, русский перевод с английского, «Электроника», № 9, 1964.

28. Уэйд, Стабилизация режима усилителя с помощью комбинированной обратной связи, русский перевод с английского, «Электроника», № 15, 1964.

29. J. L. Lecomte, R. Allemand, Circuits à transistors pour le comptage et l'analyse des rayonnements, «L'Onde E'lectrique», Octobre 1962, n° 427, p. 810.

30. В. С. Власов и др., Секции точных импульсных усилителей, «Приборы и техника эксперимента», № 1, 1964.

31. Е. И. Долгирев, Унифицированные блоки на транзисторах, в сб. «Геофизическое приборостроение», вып. 19, Изд-во «Недра», 1964.

32. Е. И. Долгирев, Унифицированные функциональные блоки радиометрической и ядерно-геофизической аппаратуры, в сб. «Геофизическое приборостроение», вып. 15, Гостоптехиздат, 1963.

33. G. G. Eichholz, G. E. Alexander, A. H. Bettens, All-Transistor Circuits for Portable Detectors, «Nucleonics», November 1957, pp. 90—93.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Каралис Владимир Николаевич

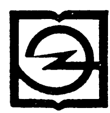
ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М.—Л., Издательство «Энергия» 1966,
92 стр. с рис.

Научный редактор *Е. И. Баранчук*
Редактор *В. М. Вайц*
Техн. редактор *Л. И. Михайлова*
Корректор *Э. А. Любченко*

Сдано в производство 23/III 1966 г.
Подписано к печати 19/V 1966 г. М-10325.
Печ. л. прив. 5,04. Уч.-изд. л. 4,7.
Бум. л. 1,5. Типографская бумага № 2
Формат 84×108 1/32. Тираж 50 000 экз.
Цена 21 коп. Заказ 968

Ленинградская типография № 6
Главполиграфпрома Комитета по печати
при Совете Министров СССР
Ленинград, ул. Моисеенко, 10



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭНЕРГИЯ“

Поступили в продажу новые книги:

Белоруссов Н. И. и Федосеева Е. Г. **Производство кабелей и проводов с пластмассовой изоляцией.** Цена 25 коп.

Васильев А. И. и Анисимов А. С. **Оптимальные процессы в микроэлектроприводах.** Цена 39 коп.

Гольдберг А. Л., Иноземцев В. П., Кринихфельд Л. И. и Орлович Т. М. **Монтажные провода для радиоэлектронной аппаратуры.** Цена 78 коп.

Китович В. В. **Оперативные запоминающие устройства на ферритовых сердечниках и тонких магнитных пленках.** Цена 59 коп.

Котомина Л. А. и Тазенкова В. Ф. **Логарифмирующие диоды.** Цена 21 коп.

Меерович Э. А. **Методы релятивистской электродинамики в электротехнике.** Цена 59 коп.

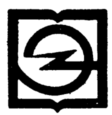
Металлические материалы для электронных ламп. Перевод с японского. Цена 2 р. 51 коп.

Микуцкий Г. В. **Устройство обработки и присоединения высокочастотных каналов.** Цена 47 коп.

Немировский М. С. **Помехоустойчивость радиосвязи.** Цена 90 коп.

Попов П. А. **Расчет частотных электрических фильтров.** (Библиотека по радиоэлектронике). Цена 64 коп.

Сандлер А. С. **Регулирование скорости вращения мощных асинхронных двигателей.** Цена 94 коп.



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭНЕРГИЯ“

Имеются в продаже следующие книги:

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Богатов Г. Б. **Как было получено изображение обратной стороны Луны.** (Массовая радиобиблиотека. Вып. 385). 1961. Цена 14 коп.

Глиберман А. Я. и Зайцева А. К. **Кремниевые солнечные батареи.** (Массовая радиобиблиотека. Вып. 396). 1961. Цена 15 коп.

Жеребцов И. П. **Введение в технику дециметровых и сантиметровых волн.** Изд. 2-е, переработанное и дополненное. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 531). 1964. Цена 42 коп.

Соболевский А. Г. **Тестеры и авометры.** (Массовая радиобиблиотека. Вып. 479). 1963. Цена 9 коп.

Соколов Г. Н. и Судравский Д. Д. **Цветной любительский телевизор «Цвет-2».** (Массовая радиобиблиотека. Вып. 469). 1963. Цена 27 коп.

Шадрин В. Н. **Магнитофон управляет станком.** (Массовая радиобиблиотека. Вып. 444). 1962. Цена 13 коп.

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

Барановский В. И. **Электронно-лучевые трубки.** 1961. Цена 72 коп.

Глебов Г. Д. **Поглощение газов активными металлами.** 1961. Цена 63 коп.

Гуревич С. Б. **Эффективность и чувствительность телевизионных систем.** 1964. Цена 1 р. 24 к.



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭНЕРГИЯ“

П о л о н и к В. С. **Прикладное телевидение.** 1962. Цена 50 коп.

Р а б к и н Л. И., С о с к и н С. А., Э п ш т е й н В. Ш. **Технология ферритов.** 1962. Цена 1 р. 19 к.

Х а ц к е л е в и ч В. А. **Расчет режимов генератора при анодной модуляции на новых лампах.** 1962. Цена 30 коп.

Ш т е й н Н. И. **Автогенераторы гармонических колебаний.** 1961. Цена 1 р. 77 к.

Заказы направляйте по адресу:

г. Ленинград, М-66, Московский пр., дом 189
Магазин № 92 „Энергия“

г. Москва, К-50, ул. Медведева, дом 1
Магазин № 8 „Техническая книга“

Книги высылаются наложенным платежом без задатка

Цена 21 коп.

